

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH LUNAK
DENGAN PVD, PHD DAN GEOTEXTILE
PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL
SEMARANG – DEMAK STA 20+400**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Program Sarjana (S1) Fakultas Teknik Program Studi
Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung**



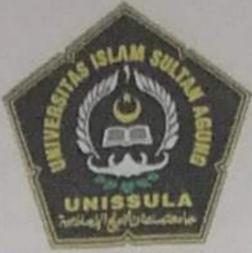
Disusun Oleh :

**Meliana Hardani M
NIM : 30.2020.00.295**

**Rocy Tri Novianti
NIM : 30.2020.00.304**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2022



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)**

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 PO.BOX 1054/SM
Telp. (024)6583584 Fax. (024)6582455 <http://www.unissula.ac.id>

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH LUNAK DENGAN
PVD, PHD DAN GEOTEXTILE PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN
TOL SEMARANG – DEMAK STA 20+400**

Oleh :



Meliana Hardani M
NIM : 30.2020.00.295



Rocy Tri Novianti
NIM : 30.2020.00.304

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 29 Juli 2022

Tim Penguji

1. Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D.
2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.
3. Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Tanda Tangan

Universitas Islam Sultan Agung
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Ketua,

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)**

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 PO.BOX 1054/SM
Telp. (024)6583584 Fax. (024)6582455 <http://www.unissula.ac.id>

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No:

Pada hari ini tanggal 29 Juli 2022 berdasarkan surat keputusan rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan dosen pembimbing dan asisten dosen pembimbing :

1. Nama : Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D.
Jabatan Akademik : Guru Besar
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi :

Nama : Meliana Hardani M Nama : Rocy Tri Novianti
NIM : 30.2020.00.295 NIM : 30.2020.00.304
Judul : ANALISIS PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH LUNAK DENGAN PVD, PHD DAN GEOTEXTILE PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG – DEMAK STA 20+400

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	10 Maret 2022	
2	Proposal	16 Juni 2022	ACC
3	Pengumpulan data	Juni 2022	
4	Analisis data	Juni 2022	
5	Penyusunan laporan	Juni – Juli 2022	
6	Selesai laporan	29 Juli 2022	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Pembimbing I

(Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D.)

Pembimbing II

(Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.)

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNISSULA

(Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Meliana Hardani M (30202000295)

Rocy Tri Novianti (30202000304)

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **“ANALISIS PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH LUNAK DENGAN PVD, PHD DAN GEOTEXTILE PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG – DEMAK STA 20+400”**

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Semarang, 29 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,

Yang membuat pernyataan,

Meliana Hardani M



Rocy Tri Novianti

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini :

NAMA : Meliana Hardani M (30202000295)
Rocy Tri Novianti (30202000304)

JUDUL SKRIPSI : ANALISIS PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH LUNAK DENGAN PVD, PHD DAN GEOTEXTILE PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG – DEMAK STA 20+400

Saya menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, ide, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan materi yang sudah pernah diterbitkan atau ditulis oleh orang lain, atau materi yang telah diajukan ke Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau universitas lain untuk gelar atau diploma.

Apabila dikemudian hari terdapat pelanggaran dan kepalsuan dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 29 Juli 2022

Yang membuat pernyataan ,

Yang membuat pernyataan ,



Meliana Hardani M

Rocy Tri Novianti

MOTTO

حَيْرًا لَكَانَ الْكُتُبِ أَهْلُ أَمْنٍ وَلَوْ ۖ بِاللَّهِ وَتُؤْمِنُونَ الْمُنْكَرِ عَنِ وَتَنْهَوْنَ بِالْمَعْرُوفِ تَأْمُرُونَ لِلنَّاسِ أُخْرِجَتْ أُمَّةٌ حَيْرًا كُنْتُمْ
الْفَاسِقُونَ وَكَثُرُ هُمُ الْمُؤْمِنُونَ مِنْهُمْ ۗ لَّهُمْ

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”

(Qs. Al-Imran: 110)

“Menuntut ilmu itu wajib bagi setiap muslim”

(H.R: Ibnu Majah)

“Dan tolong menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan pelanggaran, dan bertakwalah kamu kepada Allah, sesungguhnya siksa Allah sangatlah berat ”

(Qs. Al-Maidah: 2)

“Dia memberikan hikmah kepada siapa yang Dia kehendaki. Barangsiapa diberi hikmah, sesungguhnya dia telah diberi kebaikan yang banyak. Dan tidak ada yang dapat mengambil pelajaran kecuali orang-orang yang mempunyai akal sehat.”

(Q.S Al-Baqarah : 269)

“Wahai manusia, kami akan menguji kalian dengan kesempatan dan kenikmatan, untuk menguji iman kalian. Dan hanya kepada Kamilah kalian akan Kembali”

(Qs. Al-Anbiya:35)

“Jika kamu melakukan baik (berarti) kamu berbuat baik untuk dirimu sendiri”

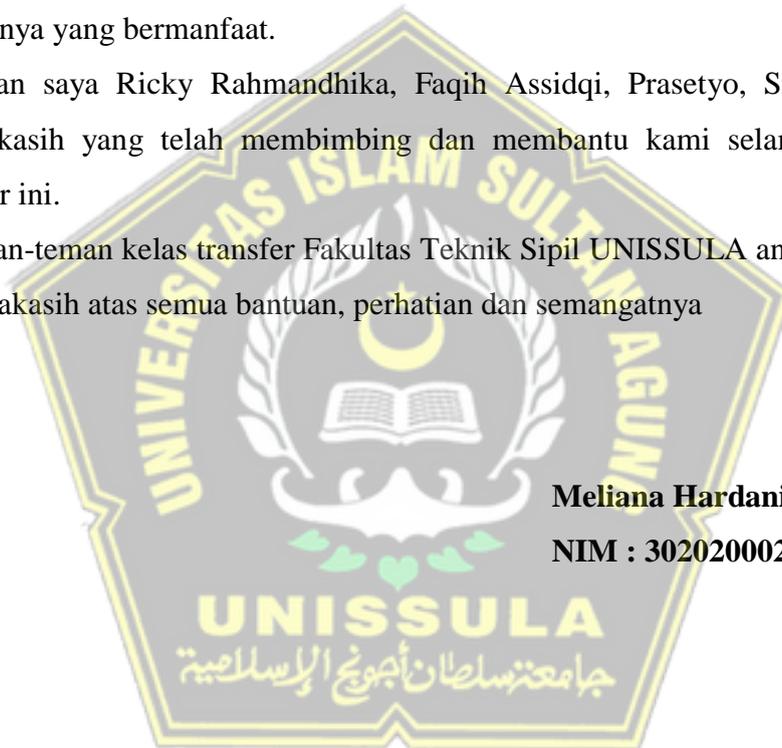
(Qs. Al-Isra’: 7)

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT, pemilik ruh dan Tuhan semesta alam. Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Eko Sujarwo dan Ibu saya Harsiti, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan doa.
2. Partner laporan tugas akhir saya Rocy Tri Novianti yang telah bekerja keras berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Semua dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang bermanfaat.
4. Untuk teman saya Ricky Rahmandhika, Faqih Assidqi, Prasetyo, Simma Ayu, dan Nabila Zarkasih yang telah membimbing dan membantu kami selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Semua teman-teman kelas transfer Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2020 dan 2021, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya



Meliana Hardani Masyithoh

NIM : 30202000295

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT, pemilik ruh dan Tuhan semesta alam. Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Alm. Bapak saya Rokman, ibu saya Nancy Yusidawati, kakak saya Hariyanto Yusman beserta istri dan anaknya, kakak saya Apriyanto Yusman beserta istri dan anaknya dan adik saya Iqbal Karya Yoda atas semua dukungan serta doa.
2. Semua dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang bermanfaat.
3. Partner laporan tugas akhir saya Meliana Hardani Masyithoh yang telah bekerja keras berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Mas Faqih, Mas Pras, Simma dan Mba Nabila yang telah membimbing kami selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Muhammad Tariq Milleniary atas doa dan semangat yang telah di berikan.
6. Semua teman-teman kelas transfer Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2020 dan 2021, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

Rocy Tri Novianti

NIM : 3020202000304

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Percepatan Konsolidasi Tanah Lunak dengan PVD, PHD dan Geotextile pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak STA 20+400”. Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Bapak Ir. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
2. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
3. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Program Studi Teknik Fakultas Teknik Sipil UNISSULA.
6. Kedua orang tua yang telah memberikan doa dan motivasi.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan baik dari segi isi maupun dari segi susunannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk menjadikannya lebih baik dan lebih menuju pada kesempurnaan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat tidak hanya bagi penulis, tetapi juga bagi pembaca.

Semarang, Juli 2022

Meliana Hardani (30202000295)

Rocy Tri Novianti (30202000304)



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
BERITA ACARA	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
ABSTRAK	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tanah Lunak	4
2.2 Penyelidikan Tanah	5
2.2.1 Pengujian dengan Bor Mesin	5
2.2.2 Pengujian dengan <i>Standart Penetration Test</i> (SPT)	6
2.3 Parameter Tanah	7
2.3.1 Sudut Geser Dalam	7

2.3.2	Kohesi	7
2.3.3	Poisson Ratio (V')	8
2.3.4	Permeabilitas	8
2.4	Penurunan Tanah (<i>settlement</i>) dan Konsolidasi	9
2.4.1	Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>)	9
2.4.2	Parameter Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah	11
2.5	Stabilisasi Tanah	16
2.6	<i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	17
2.6.1	Drainase <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	18
2.6.2	Pemasangan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	21
2.6.3	Pemasangan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	22
2.7	<i>Prefabricated Horizontal Drain</i> (PHD)	23
2.8	Geosintetik	24
2.8.1	Identifikasi Geosintetik	25
2.8.2	Fungsi dan Aplikasi Geosintetik	25
2.8.3	Jenis Geosintetik	26
2.9	Pengukuran Penurunan Tanah	30
2.10	Analisa Program Plaxis 8.6	31
BAB III METODOLOGI		33
3.1	Tinjauan Umum	33
3.2	Teknik Pengumpulan Data	33
3.3	Bagan Alir Penelitian	36
3.4	Tahapan Analisa	37
3.4.1	Analisa Perhitungan Manual	37
3.4.2	Analisa Plaxis	38
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		42
4.1	Data Analisis	42
4.1.1	Parameter Tanah	42

4.1.2	Parameter Timbunan	43
4.1.3	Parameter Perkerasan Jalan	43
4.1.4	Parameter Geotekstil	43
4.2	Pembebanan	44
4.3	Tahapan Perhitungan Manual Metode Terzaghi	44
4.3.1	Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (<i>Consolidation Settlement</i>).....	45
4.3.2	Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah Tanpa PVD & PHD.....	46
4.3.3	Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah dengan Menggunakan PVD & PHD	48
4.3.4	Tahapan Perhitungan Menggunakan Program Plaxis 8.6	51
4.4	Hasil Perhitungan	52
4.4.1	Komponen Dalam Gambar Hasil Plaxis	52
4.4.2	Output Konsolidasi 1 Tahun	54
4.4.3	Output Konsolidasi 3 Tahun	56
4.4.4	Output Konsolidasi 10 Tahun	58
4.5	Hasil Analisis	60
BAB V PENUTUP.....		61
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Tipikal Berat Volume Tanah.....	6
Tabel 2.2	Standart Penetration Test (SPT).....	7
Tabel 2.3	Hubungan antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	7
Tabel 2.4	Korelasi antara q_u - NSPT.....	8
Tabel 2.5	Hubungan Antara Jenis Tanah dari <i>Poisson Ratio</i>	8
Tabel 2.6	Nilai Permeabilitas (k) dalam satuan m/s	9
Tabel 2.7	Korelasi Parameter Tanah	13
Tabel 2.8	Hubungan antara Bentuk dan Fungsi Geosintetik	30
Tabel 3.1	Komponen yang dibutuhkan menggunakan Aplikasi Plaxis.....	40
Tabel 4.1	Parameter Tanah	42
Tabel 4.2	Parameter Timbunan	43
Tabel 4.3	Parameter Material Perkerasan	43
Tabel 4.4	Parameter Geotekstil	43
Tabel 4.5	Beban Lalu Lintas Analisis Stabilitas dan Beban di Luar Jalan.	44
Tabel 4.6	Nilai C_v dan C_c	45
Tabel 4.7	Perhitungan Penurunan Tanah	46
Tabel 4.8	Derajat Konsolidasi Tanpa PVD dan PHD	48
Tabel 4.9	Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Segitiga.	51
Tabel 4.10	Phase Perhitungan	51
Tabel 4.11	Keterangan Gambar Plaxis	53
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Mencapai Derajat Konsolidasi 90%	60
Tabel 4.13	Perbandingan Penurunan Tanah	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tahapan Penurunan Tanah	11
Gambar 2.2	Prinsip <i>preloading Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	18
Gambar 2.3	Sistem <i>preloading Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	18
Gambar 2.4	Ilustrasi Fungsi Filter	20
Gambar 2.5	Material <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	21
Gambar 2.6	Pemasangan Material <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	22
Gambar 2.7	Material <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD) <i>preloading</i>	23
Gambar 2.8	Fungsi <i>Prefabricated Horizontal Drain</i> (PHD)	24
Gambar 2.9	Instal <i>Prefabricated Horizontal Drain</i> (PHD) ke filter	24
Gambar 2.10	Geotekstil Woven	26
Gambar 2.11	Geotekstil Non Woven	27
Gambar 2.12	Geogrid	27
Gambar 2.13	Geonet	28
Gambar 2.14	Geomembrane Permukaan Halus	28
Gambar 2.15	Geomembrane Permukaan Kasar	29
Gambar 2.16	Geokomposit	29
Gambar 3.1	Masterplan Proyek Jalan Tol Semarang – Demak	33
Gambar 3.2	Plan Profil Proyek Jalan Tol Semarang – Demak	34
Gambar 3.3	Contoh metode Pemasangan PVD	35
Gambar 3.4	Bagan Alur Penelitian	36
Gambar 3.5	Bagan Tahapan Pada Plaxis	41
Gambar 4.1	Gambar Plaxis	52
Gambar 4.2	gambar muka air tanah pada Plaxis	52
Gambar 4.3	Total Penurunan Tanah 1 Tahun	54
Gambar 4.4	Tekanan Air Pori Berlebih 1 Tahun	54
Gambar 4.5	Tegangan Efektif Rata – Rata 1 Tahun	55
Gambar 4.6	<i>Safety Factor</i> 1 Tahun	55
Gambar 4.7	Total Penurunan Tanah 3 Tahun	56

Gambar 4.8 Tekanan Air Pori Berlebih 3 Tahun	56
Gambar 4.9 Tegangan Efektif Rata – Rata 3 Tahun	57
Gambar 4.10 <i>Safety Factor</i> 3 Tahun	57
Gambar 4.11 Total Penurunan Tanah 10 Tahun	58
Gambar 4.12 Tekanan Air Pori Berlebih 10 Tanah	58
Gambar 4.13 Tegangan Efektif Rata – Rata 10 Tahun	59
Gambar 4.14 <i>Safety Factor</i> 10 Tahun	59



ABSTRAK

Pembangunan Proyek Jalan Tol ini salah satu tujuannya untuk mengatasi kemacetan lalu lintas dan memperkuat daya tahan dalam menghadapi banjir rob. Saat pembangunan sering dijumpai permasalahan seperti konstruksi di atas tanah yang daya dukungnya rendah dan pemampatan tanah dasar relatif besar. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan tanah dalam menghindari waktu untuk konsolidasi yang lebih lama. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan besarnya penurunan tanah menggunakan perhitungan manual metode Terzaghi dengan menggunakan aplikasi Plaxis.

Salah satunya menggunakan metode perkuatan *geotextile* dengan dikombinasikan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) dengan metode Terzaghi. Pada penelitian dilakukan dengan pengumpulan data sekunder yaitu data sondir, data borlog, dan data laporan N-SPT. Selanjutnya dihitung analisa waktu yang diperlukan untuk tanah mencapai konsolidasi $>90\%$. Tujuan analisa ini untuk membandingkan penurunan tanah dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) dan tanpa menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) dengan menggunakan program aplikasi Plaxis 8.6.

Hasil analisa permodelan menggunakan program aplikasi Plaxis 8.6 diperoleh besar penurunan tanah sebesar 1,08 meter, sedangkan penurunan tanah menggunakan metode Terzaghi diperoleh besar penurunan tanah sebesar 1,26 meter setelah terkonsolidasi 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun.

Kata Kunci : *Plaxis 8.6; Penurunan; PVD & PHD; Tanah Lunak.*

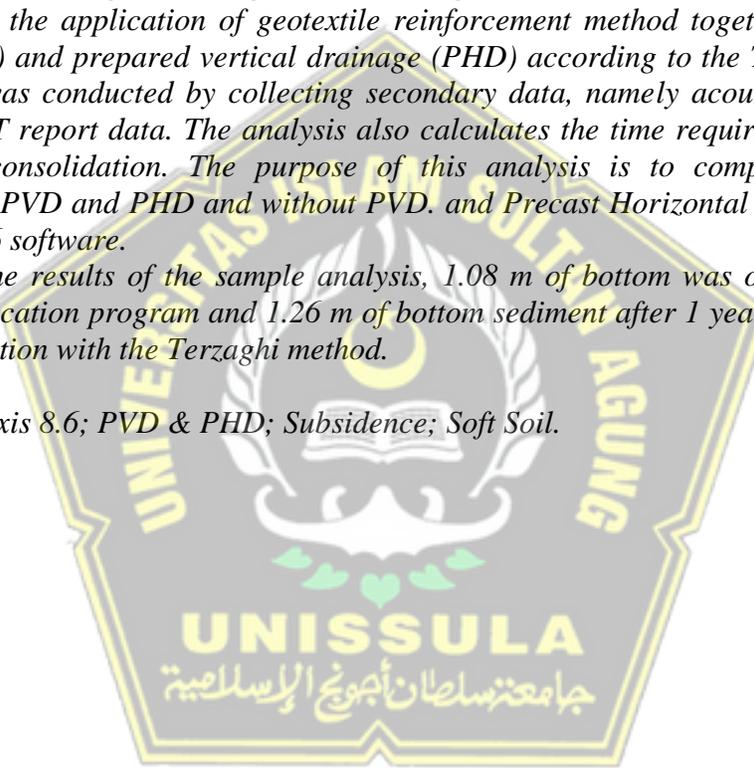
ABSTRACT

One of the goals of the highway project is to eliminate congestion and improve waterproofing. During construction, problems often arise, for example, during the construction of B. in a place with low humidity and significant soil compaction. Therefore, it is necessary to improve the grounding to avoid the danger of connecting the tape recorder. The purpose of the final assignment is to determine the rate of soil subsidence by manual calculation using the Terzaghi method using Plaxis.

One of them is the application of geotextile reinforcement method together with vertical drainage (PVD) and prepared vertical drainage (PHD) according to the Terzaghi method. The research was conducted by collecting secondary data, namely acoustic data, Borlog data and N-SPT report data. The analysis also calculates the time required for the soil to reach >90% consolidation. The purpose of this analysis is to compare the ground settlement with PVD and PHD and without PVD. and Precast Horizontal Drainage (PHD) using Plaxis 8.6 software.

According to the results of the sample analysis, 1.08 m of bottom was obtained with the Plaxis 8.6 application program and 1.26 m of bottom sediment after 1 year, 3 years and 10 years of integration with the Terzaghi method.

Keywords : *Plaxis 8.6; PVD & PHD; Subsidence; Soft Soil.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan berkembangnya teknologi pada rekayasa teknik sipil, infrastruktur jalan sangat diperlukan bagi masyarakat untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain untuk memenuhi kebutuhan mereka. Akses jalan dianggap penting jika kegiatan ekonomi masyarakat tumbuh secara signifikan. Salah satu daerah pantura yang memiliki persoalan transportasi di Indonesia berada di Jalan Raya Semarang sampai Demak. Oleh karena itu, diperlukan solusi agar sistem transportasi lebih efektif dan saling terhubung. Untuk menghubungkan Kota Semarang hingga Kabupaten Demak pemerintah Indonesia berencana membangun jalan tol.

Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak adalah jalan tol yang terbentang sepanjang 27 kilometer. Proyek jalan tol ini menjadi pendukung dalam konektivitas sekaligus penghubung Kawasan strategis. Tujuan pembangunan jalan tol Semarang-Demak adalah untuk mengatasi kemacetan lalu lintas dan memperkuat daya tahan dalam menghadapi banjir rob.

Lokasi pembangunannya terletak di daerah rawa dan sawah yang konsistensi tanahnya bersifat sangat lunak. Masalah yang mereka hadapi ketika tumbuh di tanah lunak adalah memiliki daya ikat yang kecil dan pemadatan lapisan tanah yang relatif besar, yang membutuhkan waktu lama. Sehingga perlu mewaspadaai adanya potensi terjadinya longsor saat dilakukan penimbunan. Upaya dalam menghindari waktu untuk konsolidasi yang lebih lama dan memperbaiki daya dukung tanah dasar. Metode yang dapat dilakukan dengan menggunakan perkuatan *geotextile* dengan dikombinasikan *Pre-fabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Pre-fabricated Horizontal Drain* (PHD).

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapakah penurunan tanah dengan timbunan dengan *Pre-fabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) ?
2. Berapakah secara teori besarnya penurunan tanah (*settlement*) pada tanah dalam Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket 2 STA 20+400 ?
3. Berapa waktu yang diperlukan tanah untuk mencapai konsolidasi menggunakan metode timbunan kombinasi *Pre-fabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) ?
4. Berapa tekanan air pori yang keluar dari dalam tanah tersebut, dan faktor keamanan selama 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun ?
5. Bagaimana tahapan timbunan stabilisasi tanah dalam Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket 2 STA 20+400 ?

1.3. Maksud dan Tujuan

Berdasarkan latar belakang serta rumusan masalah di atas, maka maksud dan tujuan penelitian dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Mengetahui penurunan tanah dengan timbunan dengan *Pre-fabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) menggunakan aplikasi Plaxis
2. Mengetahui besarnya *settlement* pada tanah menggunakan perhitungan manual dalam Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket 2 sta 20+400
3. Mengetahui waktu yang diperlukan tanah untuk mencapai konsolidasi dengan menggunakan metode timbunan kombinasi *Pre-fabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD)
4. Mengetahui tekanan air pori yang keluar dari dalam tanah menggunakan aplikasi Plaxis, dan faktor keamanan selama 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun

5. Mengetahui tahapan timbunan stabilisasi tanah menggunakan geotekstil dalam Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket 2 STA 20+400

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam membuat Tugas Akhir ini adalah:

1. Perhitungan penurunan tanah menggunakan program *Plaxis 8.6* dan metode *Terzaghi*
2. Pola yang *Pre-fabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD)* digunakan adalah pola segitiga dengan jarak 0,9 m
3. Data yang digunakan adalah data eksplorasi, log lubang bor dari hasil survey lapangan dan data dari berbagai jenis dokumen perencanaan.

1.5. Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini terbagi menjadi 5 bab dengan sistematika penulisan antara lain :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan alasan yang terkait dengan kerangka diskusi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini..

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metodologi pembuatan tugas akhir berupa sekumpulan metode analisis yang digunakan.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil perhitungan penurunan dengan menggunakan metode *Terzaghi* dan aplikasi *Plaxis 8.6*.

BAB V : PENUTUP

Bab ini memberikan kesimpulan dan saran berdasarkan apa yang sudah dianalisis dalam Tugas Akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Lunak

Tanah lunak menjadi masalah penting dalam suatu proyek pembangunan jalan. Tanah ditentukan oleh daya dukung tanah yang rendah. Agar tidak menyebabkan masalah pembusukan jangka panjang, penyelidikan menyeluruh harus dilakukan. Tanah lunak adalah tanah kohesif, terutama terdiri dari tanah yang sangat halus seperti lempung dan lanau.

Rendahnya kuat geser tanah lunak yang menyebabkan beban terbatas yang bekerja padanya karena kegagalan geser. Sehingga saat kompresibilitasnya tinggi, maka akan mengakibatkan penurunan tanah yang berlebihan. Hal ini terjadi ketika tanah di bawah beban segera runtuh dan mengikuti proses konsolidasi. Kuat tekan yang tinggi dan permeabilitas yang rendah meningkatkan waktu konsolidasi yang diperlukan karena kesulitan dalam drainase. Waktu yang diperlukan untuk proses konsolidasi tergantung pada ketebalan lapisan tanah lunak dan daya dukung tanah lunak (Pratikso, 2022).

Tanah lunak sangat kompresibel, dan tanah tidak berfungsi dengan rendahnya kuat geser yang dimiliki oleh tanah lunak, maka kapasitas beban tanah menjadi terbatas dan menyebabkan berbagai masalah pada struktur bangunan.

Tanah lunak umumnya mempunyai kadar air 80-100%, batas cair 80-110% dan batas plastis 30-45%. 200 adalah 90% atau lebih dan memiliki kekuatan geser 20-40 kN/m² (Toha, 1989). Tanah lunak memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Kekuatan geser rendah,
2. Kekuatan geser menurun dengan meningkatnya kadar air.
3. Jika struktur tanah terganggu, kekuatan geser akan berkurang,
4. Ini adalah plastik yang dapat dengan mudah diperas saat basah.
5. Menyusut saat kering, meregang saat basah,
6. Kompresibilitas yang baik,

7. Perubahan volume dari waktu ke waktu karena merayap di bawah beban konstan
8. Ini adalah zat jenuh air.

2.2. Penyelidikan Tanah

Tujuan berdasarkan analisis tanah merupakan buat mengetahui syarat tanah dalam lokasi yg diinginkan. Survei tanah dapat dilakukan langsung di lapangan atau di laboratorium.

2.2.1. Pengujian menggunakan Bor Mesin

Pengujian menggunakan bor mesin dilakukan langsung di lokasi. Pengeboran dilakukan dengan menggunakan mesin bor dan berbagai perangkat, seperti :

- a. Pompa,
- b. Tripot,
- c. Kepala penumbuk,
- d. Slit spoon sampel,
- e. Slang air,
- f. Bor mesin,
- g. Kepala tabung,
- h. Mata bor (core single/core barel),
- i. Tabung sampel,
- j. Batang/ pipa bor,
- k. Casing

Uji ekskavator dimaksudkan untuk mengetahui secara detail sifat-sifat lapisan tanah dengan mengambil sampel dari setiap lapisan tanah untuk diuji di laboratorium.. Saat menggali lubang tanah yang akan dibor dipasang shelter untuk mencegah longsor untuk pengambilan sampel. Sebelum diuji tanah ditutup menggunakan paraffin agar tidak menguap.

Contoh tanah dibagi menjadi contoh tanah yang mempertahankan keadaan aslinya di lapangan (contoh tanah tidak terganggu) dan contoh tanah yang diambil tanpa mempertahankan keadaan aslinya (contoh tanah terganggu). sifat tanah lapangan..

2.2.2. Pengujian dengan *Standart Penetration Test* (SPT)

Pengujian *Standart Penetration Test* (SPT) hal ini disebabkan sulitnya mendapatkan sampel tanah yang tidak terganggu pada tanah granular. Dalam pengujian ini, karakteristik tanah ditentukan densitometri langsung di lapangan. Tes yang umum digunakan untuk menentukan perkiraan nilai kerapatan relatif adalah uji penetrasi standar (SPT).. (Hardiyatmo,2010).

Peralatan yang digunakan dalam uji SPT didasarkan pada SNI 4153 : 2008, yaitu :

- a. Mesin pompa dengan peralatan;
- b. Palu seberat 63,5 kg dengan toleransi kesalahan 1%;
- c. Gulungan meteran;
- d. Kerekan;
- e. Tali yang cukup kuat untuk menarik palu;
- f. Mesin bor dengan peralatannya;
- g. Sampler Bareel Split Berdimensi (ASTM D 1586-84);
- h. Alat penahan (tripod);
- i. Pengikis datar;
- j. Kunci tabung;
- k. Peralatan lainnya.

Menurut teori John Wiley & Sons (2000), Nilai Tipikal Berat Volume Tanah adalah:

Tabel 2.1 Nilai Tipikal Berat Volume Tanah

Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m³)	γ_{dry} (kN/m³)
Kerikil	20 – 22	15 – 17
Pasir	18 – 20	13 – 16
Lanau	18 – 20	14 – 18
Lempung	16 – 22	14 – 21

Sumber : John Wiley & Sons, 1962

Untuk menentukan hubungan eksperimental antara nilai N-SPT, kerapatan tanah jenuh (γ_{sat}) dan kuat tekan tak terbatas pada tanah kohesif, dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standart Penetration Test (SPT)

N-SPT (blows/fit)	Konsistensi	Qu (unconfined compressive strength) ton/ft²
<2,0	Very soft	< 0,25
2,0 – 4,0	Soft	0,25 – 0,50
4,0 – 8,0	Medium	0,50 – 1,00
8,0 – 15,0	Stiff	1,00 – 2,00
15,0 – 30,0	Very stiff	2,00 – 4,00
>30,0	Hard	>4,00

Sumber : Terzaghi and Peck, 1996

2.3. Parameter Tanah

2.3.1. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam merupakan rasio tegangan normal terhadap tegangan geser. Nilai ini diperoleh dengan pengukuran tanah, yaitu uji geser triaksial dan geser langsung. Kekuatan geser internal memiliki gaya kohesif yang berbeda dan sudut geser internal yang berbeda. Bahan dengan sudut geser internal yang besar, mampu menahan dan menyerap

beban eksternal. Sudut geser internal dapat diperoleh seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Hubungan antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil Kepasiran	35° – 40°
Kerikil Kerakal	35° – 40°
Pasir Padat	35° – 40°
Pasir Lepas	30°
Lempung Kelanauan	25° – 30°
Lempung	20° – 25°

Sumber : Das, 1995.

2.3.2. Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik menarik antar partikel tanah. Kuat kohesif merupakan salah satu parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan terhadap deformasi yang diakibatkan oleh tegangan tanah. Serupa dengan sudut geser internal (ϕ), nilai kekuatan ikatan disimpulkan dari spesifikasi. Artinya, diperoleh dengan menguji uji triaksial dan uji geser langsung. Kohesi dapat ditentukan seperti pada tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.4 Korelasi antara q_u – NSPT

N-SPT	c
0 – 2,0	< 25
2,0 – 4,0	25 – 50
4,0 – 8,0	50 – 100
8,0 – 15,0	100 – 200
15,0 – 30,0	200 – 400
>30,0	>400

Sumber : Terzaghi & Peck, 1967

2.3.3. Poisson Ratio (ν')

Rasio Poisson adalah rasio kompresi poros terhadap regangan lateral. Tergantung pada jenis tanahnya, seperti terlihat pada Tabel 2.5, nilai *Poisson's ratio* dapat ditentukan sebagai berikut:.

Tabel 2.5 Hubungan antara Jenis Tanah dan *Poisson Ratio*

Jenis Tanah	Poisson Ratio (ν')
Lempung Jenuh	0,4 – 0,5
Lempung Tak Jenuh	0,1 – 0,3
Lempung Berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum di pakai untuk tanah	0,3 -0,4

Sumber : Das, 1995

2.3.4. Permeabilitas

Permeabilitas merupakan salah satu sifat tanah dan kemampuannya mengalirkan air pori melalui tanah. Penentuan permeabilitas tanah memiliki implikasi yang signifikan untuk pengelolaan tanah dan air. Permeabilitas tanah dipengaruhi oleh banyak faktor. Misalnya, tanah kental kurang permeabel, sedangkan tanah padat lebih permeabel. Porositas juga dapat mempengaruhi permeabilitas. Tanah dengan banyak pori sangat permeabel karena air menembus lebih baik di permukaan tanah. Sebaliknya, struktur tanah yang padat kurang permeabel karena air tidak mudah menembus.

Tabel 2.6 Nilai permeabilitas (k) dalam satuan m/s

Ukuran Partikel	Koefisien Permeabilitas (k) (m/s)
Pasir Berlempung, pasir berlanau	$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$
Pasir Halus	$1 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$
Pasir Kelanauan	$1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-5}$
Lanau	$1 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-6}$
Lempung	$1 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-8}$

Sumber : Wesley, 2009

2.4. Penurunan Tanah (*Settlement*) dan Konsolidasi

2.4.1. Penurunan Tanah (*settlement*)

Penurunan ini terjadi ketika lapisan tanah di bawahnya diberi beban tambahan. Sedimentasi disebabkan oleh deformasi partikel tanah, pergerakan partikel, dan pelepasan air atau udara dari pori-pori. Secara umum penurunan muka tanah akibat pembebanan dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu:

1. Penurunan segera / *immediate settlement*, pengurangan akibat perubahan elastis pada tanah kering, basah dan tergenang, tanpa

perubahan kadar air. Perhitungan penurunan instan umumnya didasarkan pada teori elastisitas.

Proses penurunan terjadi segera setelah penerapan beban di atas, dan beban pada tanah meningkat, mengakibatkan penurunan vertikal tanah dan perpindahan lateral tanah. Mengurangi ketinggian undercarriage. Perubahan tanah yang elastis tanpa perubahan kadar air menyebabkan penurunan segera.

Besarnya modulus elastisitas beban lereng dan kekakuan tanah mempengaruhi besarnya reduksi elastis ini. Rumus untuk penurunan sesaat adalah:

$$S_i = \Delta\sigma B \frac{1-\nu^2}{E_s} I_p \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

- Si = Penurunan segera (m)
- $\Delta\sigma$ = Beban timbunan (kN/m²)
- B = Lebar atau diameter timbunan (m)
- ν' = *Poisson's ratio*
- Es = Modulus elastisitas tanah (MPa)
- Ip = *Non-dimensional influence factor*

2. Penurunan konsolidasi / *consolidation settlement*, merupakan mengendap saat air keluar dari pori-pori tanah. Penurunan konsolidasi terjadi pada saat aliran air pori dalam tanah atau selama masa konsolidasi terjadi akibat volume tanah berubah. Pada saat penurunan konsolidasi ini, tegangan air pori secara terus menerus diubah menjadi tegangan aktif oleh kebocoran air pori. Pada tanah jenuh, tegangan total tambahan dialirkan ke air pori serta partikel tanah. Ini menambahkan tegangan total ($\Delta\sigma$) dan membaginya menjadi tegangan efektif dan tegangan air pori.

Menurut riwayat beban, ada tiga jenis utama tingkat konsolidasi.:

- a. *Normally Consolidated*, beban maksimum yang dapat dipikul oleh tanah. Tanah padat konvensional dapat dihitung menurut Persamaan 2.2 di bawah ini.

$$S_p = 1 + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \dots\dots\dots (2.2)$$

b. *Over Consolidated*, ketika tegangan mantel efektif sebenarnya lebih kecil dari pada lapisan tanah sebelumnya. Tegangan tumpang tindih r.m.s maksimum yang tercatat sejauh ini disebut tegangan pra-fusi (PC). Di bawah ini adalah persamaan untuk over-konsolidasi.

$$S_p = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{P_c}{P_o} + \frac{C_s \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

S_p = Penurunan konsolidasi primer (m)

e_o = Angka pori

C_c = Indeks pemampatan

H = Tebal lapisan tanah (m)

P_c = Tekanan perkonsolidasi (kN/m^2)

P_o = Tekanan overburden efektif (kN/m^2)

C_s = Indeks pemuai/mengembang

Δp = Distribusi tekanan (kN/m^2)

c. *Under Consolidated*, Tegangan efektif tanah lapisan atas yang sebenarnya belum mencapai nilai maksimumnya, sehingga konsolidasi masih berlangsung pada saat pengambilan sampel tanah.

Besarnya amplitude/ penurunan tanah total menurut Das (1995) adalah:

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} + S_{lat} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

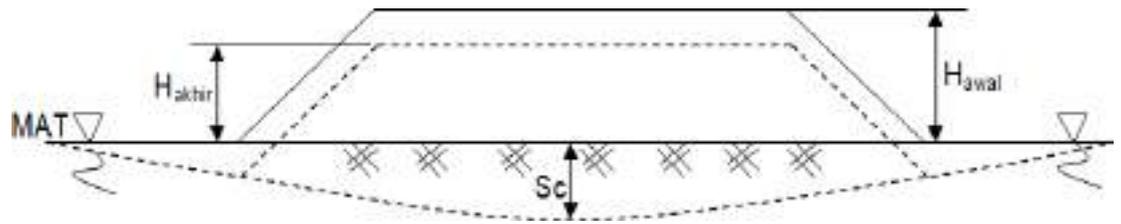
S_t = total *settlement* (m)

S_i = *immediate settlement* (m)

S_{cp} = *consolidation primer settlement* (m)

S_{cs} = *consolidation secondary settlement* (m)

S_{lat} = *settlement* akibat pergerakan tanah arah lateral (m)



Gambar 2.1 Hubungan Tinggi Timbunan dan Penurunan

Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

2.4.2. Parameter Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan tanah asli ini terjadi karena rumus konsolidasi Terzaghi dapat menganalisis beban timbunan dengan beberapa parameter perhitungan, yaitu:

A. Koefisien Konsolidasi

1) Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v) berfungsi sebagai penentu aliran vertikal air dalam tanah. Karena telah diketahui bahwa konsolidasi terjadi dalam satu arah, arah vertikal, laju terjadinya konsolidasi bergantung pada faktor konsolidasi. Nilai C_v dihitung dengan rumus pada Persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

C_v = Koefisien konsolidasi vertikal (cm² /s)

T_v = Faktor waktu yang tergantung pada derajat konsolidasi akibat aliran vertikal (s)

H = panjang aliran yang harus dibawa air pori selama konsolidasi (cm)

t = Waktu untuk mencapai derajat konsolidasi (s)

2) Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal (Ch)

Nilai konsolidasi untuk material tanah jenis lempung homogeny, dikutip dari jurnal “Aspects on the modelling of Smear Zone around Vertical Drain” oleh Muller dan Larsson, dapat dihitung menggunakan rumus persamaan 2.6 sebagai berikut.

$$C_h = 1,5 \times C_v \text{ gabungan} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

C_h = Koefisien konsolidasi horizontal (cm² / detik)

3) Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal Gabungan

Nilai koefisien konsolidasi vertikal (Cv) dapat dianalisis dengan interpolasi linier tanah pada lapisan dan kedalaman yang berbeda. Nilai Cv gabungan dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.7 sebagai.

$$C_v \text{ gab} = \frac{(H_1+H_2+\dots+H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan :

$C_v \text{ gab}$ = koefisien konsolidasi gabungan (cm²/det)

C_{v1} = koefisien konsolidasi lapisan tanah ke-1 (cm²/det)

C_{vn} = koefisien konsolidasi lapisan tanah ke-n (cm²/det)

H_1 = lapisan tanah ke-1 (cm), dan

H_n = lapisan tanah ke-n (cm)

Tabel 2.7 Korelasi Parameter Tanah

Sifat Tanah	ρ_{sat}		w	n	Wier		σ_c				gamma		$w-LI$					
	g/cm ³	t/cm ³			%	g/cm ³	cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	cm ² /kg	kg/cm ²	cm ² /kg	cm ² /kg	kg/cm ²			
Silt (Clay)	kurus	0.5	81.25	4.4	98	181	1.31	11.26	0.001	0.0001	0.00003		0.01	0.142	160	87.9		
		0.6	37.5	1.5	0.78	129.4	1.38						0.05	0.71	20	18.52		
		0.7	43.75	2.86	0.74	105.8	1.94	11.38	0.0101	0.001	0.0001	3.4						
		0.8	50	2.18	0.7	88	1.3				0.0001	6.8	0.1	1.43	10	8.76		
		0.9	56.25	2	0.67	74.1	1.37	11.37	0.0101	0.01	0.0001	13.1	0.5	7.81	7	1.952		
											0.0004	11.1	1	18.2	1	0.876		
	lembek	1	82.5	1.7	0.81	81	1.81	11.81	1.01	0.1	0.0001	16.9	2	18.4	0.5	0.488		
		1.1	88.75	1.43	1.43	53.9	1.85	22.86	2.96		0.0001	18.1	3	42.6	0.15	0.3238		
		1.2	75	2.15	1.21	48.1	1.78	26.81	2.1		0.0001	23.9	4	36.8	0.23	0.284		
		1.3	81.25	1.98	1.08	58.9	1.81	48.86	4.11		0.0008	27	5	71	0.2	0.1852		
lembek		1.4	87.5	0.91	0.91	34.4	1.88	52.86	1.17		0.0008	19.4	6	85.2	0.17	0.1899		
		1.5	83.75	0.8	0.8	29.4	1.94	62.86	0.1		0.001	33.8	7	88.4	0.14	0.1664		
		1.6	100	0.69	0.69	15.1	2.04	71.86	7.24			8	110.6	0.11	0.11717			
		1.7	106.25	0.59	0.59	7.5	2.07	81.86	8.26			8	117.8	0.11	0.11348			
		1.8	112.5	0.5	0.5	18.6	2.13	86.86	9.1		0.01	118.0	10	142	0.1	0.0876		
		1.8	118.75	0.42	0.42	15.4	2.2	92.0001	10.21	1		13	138.2	0.091	0.08882			
										0.0001	10.21	10	0.2	138.0001	12	170.4	0.085	0.08100
	glauk	2	125	0.35	0.35	15	2.25	0.001	12.25	100			13	184.6	0.077	0.07313		
		2.1	131.25	0.28	0.28	11.8	2.31	0.01	13.26	1900			14	198.8	0.073	0.07125		
		2.2	137.5	0.21	0.21	8.4	2.38	0.01	14.26	3000			15	213	0.064	0.06048		
	2.3	143.75	0.15	0.15	6.4	2.45						16	228	0.05	0.0488			
	2.4	150	0.11	0.11	4.7	2.51						17	244	0.04	0.03907			
	2.5	156.25	0.08	0.07	3.4	2.57						18	260	0.03	0.03076			
	2.6	162.5	0.06	0.03	1.42	2.64						19	276	0.02	0.02288			
	2.7	168.75	0	0	0	2.7						20	292	0.01	0.01552			

Sumber : Biarez dan Favre, 1972

B. Indeks Pemampatan (C_c)

Fungsi dari indeks kompresi adalah untuk menghitung nilai reduksi aktual akibat konsolidasi. Indeks kompresi dihitung menggunakan Persamaan 2.8 di bawah ini.

$$C_c = 0,009 (LL - 10) \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

C_c = Indeks Pemampatan

LL = Batas cair (%)

C. Tekanan *Overburden* Efektif (P_o)

Tekanan penutup efektif adalah tekanan yang diterapkan secara vertikal yang merupakan beban awal atau pembentukan tanah di atas titik uji tanah awal. Tekanan efektif lapisan atas dihitung dengan Persamaan 2.9 di bawah ini.

$$P_o = \gamma' \times H \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

P_o' = Tekanan *overburden* efektif

γ' = Berat volume tanah efektif ($\gamma_{sat} - \gamma_w$) (gr/m³)

H = Tebal lapisan tanah yang terkonsolidasi (m)

D. Tegangan Tanah (Δp)

Perambatan tegangan tanah adalah tegangan tambahan yang disebabkan oleh dampak pembebanan lereng pada tanah. Tegangan tanah ini dihitung dengan rumus pada Persamaan 2.10:.

$$\Delta P = q_0 \times I \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan :

$$q_0 = \gamma_{timbunan} \times H_{preloading} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$I = \frac{(a+b)}{a} (a_1 + a_2) - \frac{b}{a} (a_2) \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

ΔP = Penyebaran tegangan

q_0 = Beban ekivalen

$\gamma_{timbunan}$ = Berat volume tanah timbunan (gr/m³)

$H_{preloading}$ = Tinggi timbunan preloading (m)

I = Faktor pengaruh

a = Panjang horizontal kemiringan timbunan (m)

b = Lebar setengah timbunan (m)

E. Faktor Waktu

1) Faktor Waktu Konsolidasi Arah Vertikal (T_v)

Aliran di dalam tanah PVD yang tidak terikat hanya dalam arah vertikal. Faktor waktu curing area dihitung dari Persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$T_v = \frac{c_v \times t}{H^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan :

T_v = faktor waktu (U)

C_v = koefisien konsolidasi vertikal (cm²/det)

T = waktu konsolidasi (cm²/detik)

H^2 = panjang aliran = 0,5 H

2) Faktor Waktu Konsolidasi Arah Horizontal (T_h)

Konsolidasi horizontal terjadi ketika ada drainase ke sumber air pusat seperti sungai. B. PVD digunakan di bawah tanggul untuk mengurangi jarak drainase dan mempercepat drainase air pori dengan mempersingkat waktu pemadatan. Faktor waktu pembekuan horizontal dihitung dengan Persamaan 2.14 di bawah ini.

$$T_h = \frac{ch \times t}{de^2} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan :

T_h = waktu horizontal

C_h = koefisien konsolidasi vertikal (m²/tahun)

D_e = diameter lingkaran PVD (m)

t = waktu ke-n

F. Derajat Konsolidasi

1) Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (U_v)

Analisa konsolidasi satu dimensi (1-D) Terzaghi untuk menghasilkan nilai U_v dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan 2.15 sebagai berikut.

Untuk $U_v < 60\%$, maka U_v adalah :

$$U_v = \frac{n \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}}}{(1 + (\frac{4T_v}{\pi})^{2,8})^{0,179}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dengan :

U_v = derajat konsolidasi arah vertikal (%)

n = bilangan bulat

T_v = faktor waktu

2) Derajat Konsolidasi Arah Horizontal (U_h)

Analisa derajat konsolidasi arah horizontal (U_h) dihitung menggunakan metode “equal strain consolidation” pada persamaan 2.16 sebagai berikut.

Nilai faktor hambatan akibat jarak PVD dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan 2.16 sebagai berikut.

$$U_h = 1 - \text{Exp}\left(\frac{-8T_h}{F(n)}\right) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan :

U_h = Derajat konsolidasi arah radial

T_h = waktu radial

$F(n)$ = Faktor hambatan

Nilai faktor hambatan karena jarak PVD dihitung dengan rumus persamaan 2.17 sebagai berikut.

$$F(n) = \ln \frac{D_e}{D_w} - \frac{3}{4} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dengan :

$F(n)$ = faktor hambatan

D_e = diameter jangkauan kerja PVD (m)

D_w = diameter lingkaran ekivalen PVD (m)

$$D_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan :

a = Lebar PVD

b = Tebal PVD

3) Derajat Konsolidasi Rata – Rata (U)

Derajat Konsolidasi Rata-Rata (U) adalah rasio waktu penurunan terhadap total penurunan. Menurut Carillo (1942),

rumus pemadatan tanah stabil dapat dihitung dengan menggunakan metode PVD dengan menggunakan rumus 2.19 sebagai berikut:

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h) \dots \dots \dots (2.19)$$

Dengan :

U = derajat konsolidasi rata rata (%)

U_v = derajat konsolidasi vertikal (%)

U_h = derajat konsolidasi horizontal (%)

2.5. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah ialah cara sebagai memperbaiki sifat-sifat tanah dengan cara meningkatkan daya dukung tanah, mempertahankan kekuatan geser, dan mencegah pembentukan tanah dengan menambahkan zat aditif atau mengubah struktur lapisan. (Bowles, 1991).

Stabilisasi tanah dibagi menjadi 2 bidang: stabilisasi mekanik dan stabilisasi kimia. Ada stabilisasi mekanis yang mencampur dan mengaduk dua atau lebih tingkat tanah yang berbeda untuk mendapatkan bahan yang dibutuhkan, dan stabilisasi kimia yang mencampurkan tanah dan campuran pada rasio tetap. Sebagai salah satu pendukung konstruksi, agar tetap aman, tanah sebagai daya dukung harus memiliki daya dukung yang baik untuk menahan beban konstruksi (Lisa Fitriyana, 2022). Namun tidak semua tanah mempunyai daya dukung yang cukup dalam sebuah konstruksi, maka dari itu diadakan suatu usaha untuk memperkuat tanah yaitu dengan stabilisasi tanah.

Secara umum stabilisasi tanah dilakukan untuk:

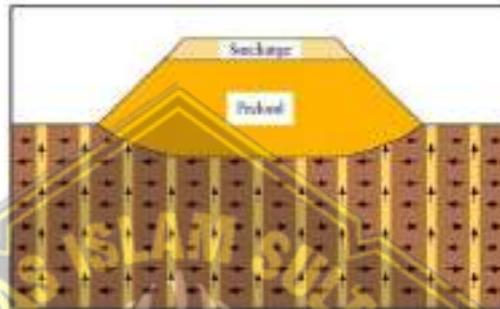
- a. Meningkatkan kerapatan tanah,
- b. Meningkatkan daya dukung dan kuat geser,
- c. Penambahan bahan inert untuk meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang dihasilkan,
- d. Penambahan zat yang secara kimia atau fisik mengubah tanah,
- e. Mengontrol stabilitas volume (*shrinking and swelling*).

Pada kasus ini, usaha stabilisasi tanah yang digunakan berupa stabilisasi secara mekanis dengan mengkombinasikan *Prefabricated Vertical* dan

Horizontal Drain (PVD & PHD).

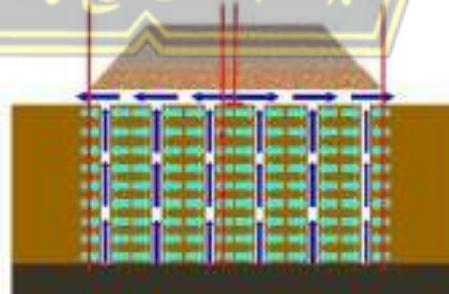
2.6. Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Umumnya, drainase vertikal standar (PVD) berperan dalam proses konsolidasi. Integrasi dipercepat dengan Sistem Drainase Vertikal Pracetak (PVD). Metode konstruksi drainase vertikal prefabrikasi (PVD), planum dibebani sesuai dengan lokasi konstruksi yang direncanakan dan beban konstruksi untuk memperbaiki tanah. Segera setelah pengerasan mencapai tingkat yang diinginkan, prategang dilepaskan dan konstruksi dimulai.



Gambar 2.2 Prinsip *preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) (Kuswanda,2015)

Perbaikan tanah lunak dengan metode pre-loading menggunakan pipa drainase vertikal (PVD) eksisting adalah sistem perbaikan tanah yang terdiri dari metode pre-loading, pipa drainase vertikal (PVD) siap pakai, drainase horizontal, dan peralatan geoteknik, seperti yang ditunjukkan pada gambar adalah. Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem *preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) (Kuswanda, 2015)

Penggunaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) digunakan karena keuntungan, berikut:

1. Waktu yang lebih singkat diperlukan untuk control kualitas,
2. Instalasi lebih cepat dan ekonomis, dan
3. Tahan terhadap deformasi besar tanpa merusak fungsi drainase.

2.6.1. Drainase *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Prefabricated Vertical Drain (PVD) adalah sistem drainase sintetis. Dehidrasi vertikal menggunakan papan plastik kantong panjang menggabungkan bahan inti polipropilen dengan kekuatan mekanik yang tinggi. Lapisan cladding menggunakan material berupa geotekstil.

Sistem drainase vertikal prefabrikasi (PVD) digunakan untuk mempercepat konsolidasi tanah, terutama pada tanah lempung atau aluvial. Drainase vertikal prefabrikasi (PVD) dipasang secara vertikal di tanah untuk mengalihkan air dari lapisan tanah lunak ke permukaan.

Prefabricated Vertical Drain (PVD) memiliki 2 sisi yaitu jaket (*filter*) dan inti (*core*). Jaket (*filter*) berfungsi untuk menyaring agar hanya air yang masuk ke inti membran drain dan sekat antara inti dan tanah liat di sekitarnya. Sedangkan inti (*core*) berperan sebagai saluran untuk memperlancar pergerakan air dari dasar ke permukaan, bertindak sebagai penyangga mantel (*filter*) dan menyediakan jalur drainase.

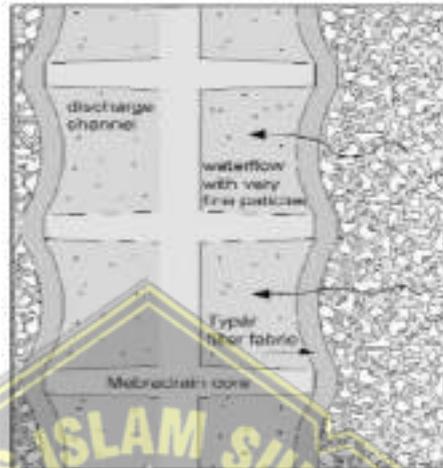
Besarnya kapasitas tampung (q_w) diberikan dalam spesifikasi yang digunakan untuk saluran vertikal prefabrikasi (PVD). Jika kapasitas saluran vertikal prefabrikasi (PVD) tidak ditunjukkan, jumlah kapasitas dapat ditentukan.

Sebuah filter harus memenuhi persyaratan (Hansbo,1979) sebagai berikut:

1. Supaya tidak mempengaruhi kapasitas drainase maka permeabilitas filter harus lebih tinggi.
2. Di sisi lain, filter harus kurang permeabel untuk menahan partikel kotoran halus. Partikel kotoran halus dapat melewati filter dan masuk ke inti, akhirnya menghalangi saluran inti.
3. Untuk menahan tekanan lateral yang besar serta tidak diserap oleh saluran dasar maka filter harus kuat.

4. Seiring berjalannya waktu, filter tidak boleh rusak karena mengurangi fluiditas inti dan knalpot.

Fungsi filter dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.4 Ilustrasi Fungsi Filter (Stapelfeldt,2006)

Ada kriteria desain filter dasar yang wajib dilakukan sebagai memenuhi persyaratan teori Hansbo di atas:

1. Permeabilitas

Permeabilitas membran filter harus lebih besar dan lebih tinggi dari permeabilitas tanah. Menurut hukum air, air mengalir dari kurang permeabel ke lebih permeabel. Permeabilitas filter dapat didefinisikan sebagai :

$K_f \geq 10k_s$, di mana k_f adalah permeabilitas filter dan k_s adalah permeabilitas tanah.

2. Sifat mekanis dari filter dan inti

Prefabricated Vertical Drain (PVD) cukup kuat untuk menopang beban selama proses pemasangan. Kekuatan tarik ultimat dicapai ketika paku dipercepat dan pada penetrasi pertama atau setelah penundaan yang disebabkan oleh hambatan atau lapisan tanah yang lewat. Oleh karena itu, efisiensi inti, efisiensi filter dan efisiensi keseluruhan gergaji harus ditentukan dalam dua kondisi: basah dan kering.

- a. Kekuatan tarik longitudinal minimal 0,5kN;
- b. Antara $\geq 2\%$ dan $\leq 10\%$ longitudinal strai akan mengalami kegagalan;
- c. Filter harus mempunyai sifat yang sama dan lebih besar di setiap bagian drain filter.

2.6.2. Pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Pipa besi persegi panjang (Mannrel) digunakan saat memasang PVD untuk menghindari kerusakan pada PVD. Ukuran paku sekecil mungkin agar tidak merusak tanah.

Prinsip:

1. Pasang ujung gulungan vertical drain (PVD) yang sudah jadi ke sisi stapler dan masukkan ke dalam stapler. Saat drive berputar, PVD didorong ke arah mandrel. Ujung mandrel dilekatkan pada pelat jangkar yang ditarik ke arah mandrel..
2. Mandrel dimasukkan ke dalam tanah dengan gaya sekitar 50 kN sampai 200 kN dan setelah mencapai kedalaman pengikat PVD tetap berada di dalam tanah.
3. Tarik kembali mandrel dan potong dengan PVD. Setelah memasang pelat jangkar, stapler akan pindah ke titik berikutnya.



Gambar 2.5 Material *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul



Gambar 2.6 Pemasangan Material *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Sumber : PT. Virama Karya

2.6.3. Perencanaan Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Drainase Vertikal Prefabrikasi (PVD) adalah sistem geosintetik yang digunakan untuk drainase. Permeabilitas tanah yang rendah menyebabkan tanah lunak terkonsolidasi terlalu lama. Oleh karena itu, solusi untuk mengurangi waktu konsolidasi sering kali adalah prategang riser prategang (PVD).

Untuk menentukan kedalaman saluran vertikal prefabrikasi (PVD) di dalam tanah dengan asumsi sebagai berikut: Lapisan tanah di sekitar sungai relatif cepat padat.,

1. Arah aliran pada bagian bawah prefabricated vertical drain (PVD) terkompresi dengan arah aliran air (tetap) dan hampir ke atas (vertikal,
2. $Ch = 2 \times Cv$
3. Penentuan titik awal dan akhir timbunan berdasarkan beban konstruksi yang direncanakan,
4. Penurunan di bagi jadi dua bagian, yaitu :
 - Penurunan jangka pendek dengan penurunan ketebalan tanah dengan kedalaman drainase vertikal prefabrikasi (PVD)
 - Penurunan memanjang adalah dekompresi lapisan tanah di bawah kedalaman ujung saluran longitudinal pracetak (PVD)

5. Pengurangan dapat diterima jika laju pengurangan jangka panjang rata-rata 1,5 cm/tahun.

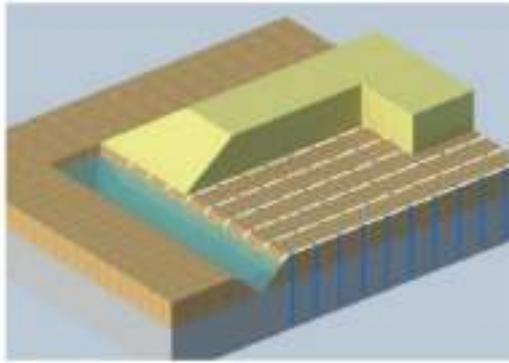
2.7. *Prefabricated Horizontal Drain (PHD)*

Sistem drainase horizontal prefabrikasi (PHD) adalah sistem geosintetik yang berfungsi sebagai sistem drainase. Selang Pembuangan Horizontal Prefabrikasi (PHD) adalah material komposit yang terdiri dari inti dan filter. Pekerjaan reklamasi lahan menggunakan saluran Prefabricated Horizontal Drainage (PHD) untuk menerima dan mengalirkan air dari berbagai ujung Prefabricated Vertical Drainage System (PVD). Gunakan Prefabricated Horizontal Drainage (PHD) sebagai drainase horizontal pada restorasi tanah liat lunak dengan melakukan preloading dengan Prefabricated Vertical Drainage (PVD) 20mm x 100mm. Tujuannya adalah untuk mengalirkan rongga di drainase vertikal prefabrikasi (PVD) dan membuang PHD secara horizontal. Selama proses perencanaan, Sistem Drainase Horizontal Pracetak (PHD) dilaksanakan tergantung pada kondisi setempat. Saat merencanakan PHD Anda, ikuti tata letak dan jarak dari knalpot horizontal prefabrikasi (PHD).



Gambar 2.7 Material *Prefabricated Horizontal Drain (PHD)* metode *Preloading*

Sumber : PT. Virama Karya



Gambar 2.8 Fungsi *Prefabricated horizontal drain (PHD)* (Kuswanda, 2015)



Gambar 2.9 Instal *Prefabricated horizontal drain (PHD)* ke filter *Prefabricated horizontal drain (PHD)*

Sumber : PT. Virama Karya

2.8. Geosintetik

Geosintetik dibagi menjadi dua jenis yaitu fabric dan mesh. Menurut bahannya, geosintetik dibedakan menjadi dua yaitu bahan sintetis dan bahan alam. Pipa geosintetik diproduksi dari polimer sintetis yaitu polipropilen (PP), poliester (PET) dan polietilen (PE). Bahan polimer sangat kuat dari degradasi biologis dan kimia.

Keunggulan dari geosintetik :

- Geosintetik sudah diakui sebagai material bangunan secara internasional oleh GSI, ISO dan ASTM
- Penggunaan geosintetik lebih ekonomis dibandingkan dengan metode konvensional seperti contohnya penggunaan beton bertulang lainnya.
- Tidak cepat rusak dari mikroba karena bahannya sendiri terbuat dari bahan polimer.

2.8.1. Identifikasi Geosintetik

Secara umum, geosintetik dapat diidentifikasi sebagai

1. Jenis polimer (polimer densitas tinggi dan polimer densitas rendah);
2. Jenis elemen (katun, rajutan, untaian, rangka, dan rangka yang dilapis);
3. Proses manufaktur (kain tenun, non-anyaman dan jarum, non-anyaman dan ikatan termal, peregangan atau menggambar, menjahit, menyembuhkan, menyelesaikan);
4. Jenis geosintetik utama (geotekstil, geogrid, dan geomembran).

2.8.2. Fungsi dan Aplikasi Geosintetik

Geosintetik mempunyai fitur primer dan sekunder, biasanya satu atau lebih. Kedua fungsi ini dapat berkontribusi pada implementasi secara keseluruhan. Oleh karena itu, kedua fitur ini harus diperhitungkan saat menghitung dan merumuskan rencana terperinci. Geosintetik memiliki enam fitur::

1. Filtrasi

Ini adalah bahan geosintetik yang memasok air ke dalam sistem drainase dan menghambat partikel tanah melewati filter. Contoh pemakaian geosintetik untuk filter ialah sistem drainase berpori.

2. Drainase

Bahan geosintetik sebagai drainase di tanah. Bahan ini bertindak untuk sistem drainase pada dinding penahan.

3. Separator

Bahan geotekstil mencegah pencampuran bahan. Bahan ini digunakan untuk mencegah subfloor bercampur dengan tanah lunak, sehingga menjaga integritas struktur dan ketebalannya..

4. Perkuatan

Bahan geotekstil yang tahan terhadap tegangan dan deformasi struktur tanah..

5. Penghalang

Bahan geotekstil yang mencegah pergerakan cairan dan gas. Bahan ini digunakan sebagai perlindungan terhadap perubahan kadar air di tanah skala besar dan pengumpulan sampah.

6. Proteksi

Bahan kelongsong geotekstil mempunyai efek mengurangi beban lokal untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada permukaan dan perkerasan. Bahan ini digunakan untuk mencegah erosi tanah yang disebabkan oleh hujan dan limpasan. Misalnya, geotekstil non-woven digunakan untuk menghambat geomembran menembus tanah dan batuan di sekitarnya selama pemasangan..

2.8.3. Jenis Geosintetik

Geosintetik mencakup berbagai jenis bahan, masing-masing dengan bentuk dan fungsi yang berbeda.

1. Geotekstil

Geotekstil berfungsi untuk perkuatan tanah (*reinforcement*), penyaringan (*filtration*), lapisan pemisah (*separation*), pengendali erosi (*erosion control*), dan penyalur air (*drainage*). Bentuknya terdiri dari serat sintetis, jadi selain fleksibel, tidak ada masalah penyusutan seperti bahan alam. Cara pembuatannya, geotekstil dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu geotekstil dianyam (*woven geotekstile*) dan geotekstil tidak dianyam (*non woven geotekstile*).



Gambar 2.10 Geotekstil Woven

Sumber : PT. Tiga Pilar Utama Karya Sentosa



Gambar 2.11 Geotekstil Non Woven

Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

2. Geogrid

Geogrid berfungsi untuk perkuatan tanah (*soil reinforcement*) dan pengendali erosi (*erosion control*). Geogrid merupakan proses pemanasan dan penarikan serat polymer dalam satu arah atau lebih. Geogrid tidak dapat digunakan sebagai filter karena memiliki lubang jaring yang lebih banyak daripada yang dimilikinya.



Gambar 2.12 Geogrid

Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

3. Geonet

Geonet berfungsi untuk penyalur air (*drainage*). Geonet merupakan set parallel yang terhubung langsung secara integral dan dipakai untuk drainase planar cairan. Bahan ini banyak digunakan dalam kegiatan konstruksi, bentuknya pun mirip dengan anyaman namun lebih renggang dibandingkan dengan geotextile woven.

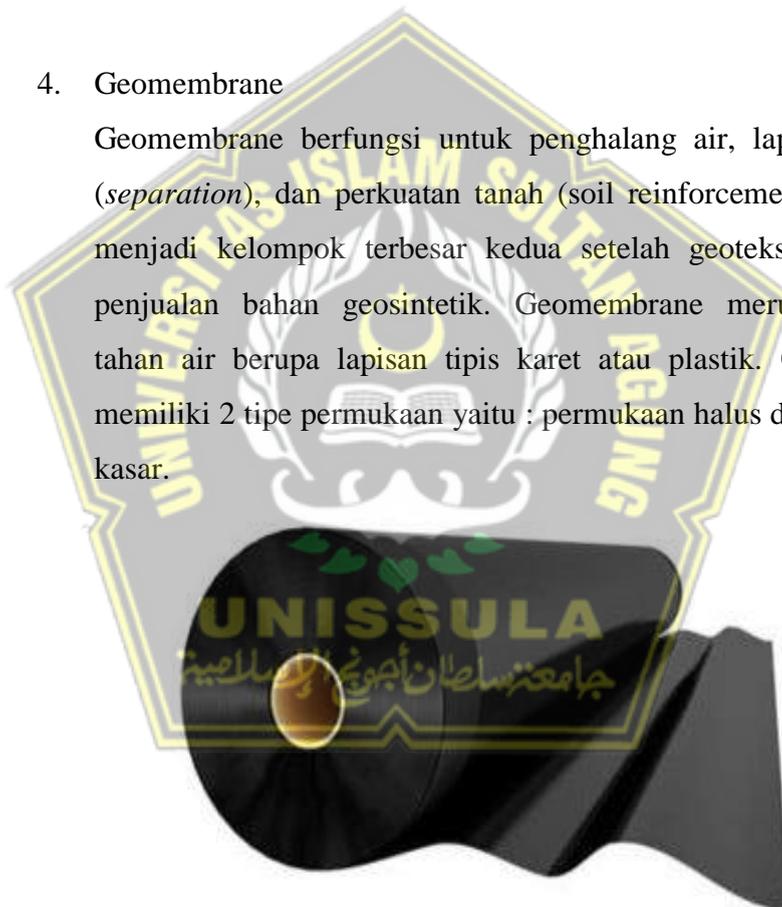


Gambar 2.13 Geonet

Sumber : PT. Geosintetik Mandiri Indonesia

4. Geomembrane

Geomembrane berfungsi untuk penghalang air, lapisan pemisah (*separation*), dan perkuatan tanah (soil reinforcement). Bahan ini menjadi kelompok terbesar kedua setelah geotekstil dalam hal penjualan bahan geosintetik. Geomembrane merupakan bahan tahan air berupa lapisan tipis karet atau plastik. Geomembrane memiliki 2 tipe permukaan yaitu : permukaan halus dan permukaan kasar.



Gambar 2.14 Geomembrane permukaan halus

Sumber : PT. Geosintetik Mandiri Indonesia

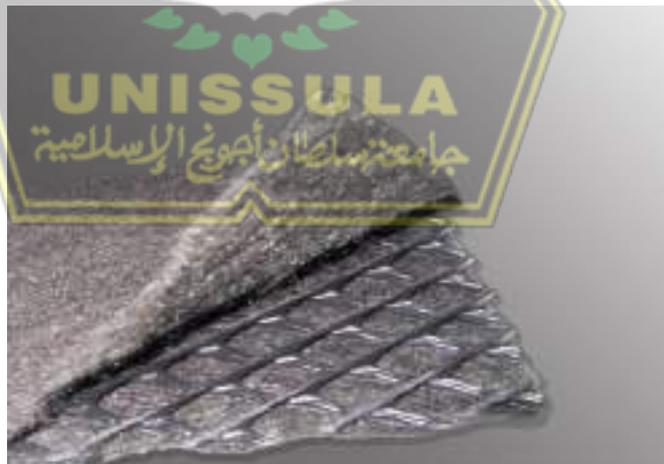


Gambar 2.15 Geomembrane permukaan kasar

Sumber : PT. Geosintetik Mandiri Indonesia

5. Geokomposit

Geokomposit berfungsi untuk penyalur air (*drainage*), pengendali erosi (*erotion control*), penyaring (*filtration*), perkuatan tanah (*soil reinforcement*), lapisan pemisah (*separation*), dan penghalang air. Bahan ini merupakan bahan gabungan yang berupa kombinasi dari geotekstil dan geogrid atau geogrid dan geomembran, atau antara geotekstil, geogrid, dan geomembran.



Gambar 2.16 Geokomposit

Sumber : PT. Teknindo Geosistem Unggul

Tabel 2.8 Hubungan antara bentuk dan fungsi geosintetik

Bentuk	Fungsi
Geotextile	<ol style="list-style-type: none">1. Perkuatan Tanah (soil reinforcement)2. Penyalur air (drainage)3. Lapisan pemisah (separation)4. Penyaringan (filtration)5. Pengendali erosi (erosion control)
Geogrid	<ol style="list-style-type: none">1. Perkuatan Tanah (soil reinforcement)2. Pengendali erosi (erosion control)
Geonet	<ol style="list-style-type: none">1. Penyalur Air (Drainage)
Geomembrane	<ol style="list-style-type: none">1. Penghalang Air2. Lapisan pemisah (separation)3. Perkuatan tanah (soil reinforcement)
Geokomposit	<ol style="list-style-type: none">1. Penyalur air (drainage)2. Pengendali erosi (erosion control)3. Penyaringan (filtration)4. Perkuatan tanah (soil reinforcement)5. Lapisan Pemisah (Separation)6. Penghalang Air

Sumber : Rakyat, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan, 2017

2.9. Pengukuran Penurunan Tanah

Pemasangan peralatan geoteknik untuk remediasi tanah lempung lunak membantu memantau proses implementasi dan hasil selama operasi remediasi tanah.

1. *Settlement Plate*

Pelat subsidensi berfungsi sebagai pemantau pergerakan vertikal tanah, yaitu perubahan vertikal ke atas dan ke bawah akibat perubahan tegangan dan regangan serta kompresi lapisan tanah. Pelat penurunan dipasang di zona penurunan beban awal maksimum. Perangkat aliran air digunakan untuk pemantauan. Hanya setelah menerima data, kami dapat membuat grafik jumlah penurunan terhadap waktu..

2. *Inclinometer*

Sebuah inclinometer digunakan untuk memeriksa defleksi lateral lantai untuk menentukan apakah itu geser atau putus. Sebuah inclinometer dipasang di ridgeline. Memantau inclinometer akan memberi Anda data yang dihasilkan. Data ini secara grafis mewakili hubungan antara kedalaman tanah, gerakan horizontal dan deformasi tanah.

3. *Pneumatic Piezometer*

Pengukur tekanan akan secara akurat dan cepat mengukur tekanan air pori di tanah di lokasi itu. Untuk memantau pisometer pneumatik dengan pembacaan. Setelah Anda menerima hasil data, Anda dapat membuat grafik tekanan air pori versus waktu.

2.10. Analisa Program Plaxis 8.6

Plaxis adalah aplikasi teknik sipil berbasis elemen yang dirancang untuk menganalisis deformasi, penurunan, atau stabilitas geosintetik. Fase pemodelan Plaxis dapat dioperasikan secara grafis, memungkinkan pemodelan elemen yang sangat kompleks dengan lebih cepat dan mudah.

Program Plaxis dapat menganalisis masalah yang dihadapi dalam rekayasa geoteknik, tiang pancang, timbunan, pondasi, stabilitas timbunan, dll. Perhitungan dalam program Plaxis didasarkan pada metode numerik standar. Program plaxis dapat dibagi menjadi empat program:

1. Plaxis input

Fungsi input plaxis untuk pemodelan geometrik dan parameter tanah yang digunakan dalam 2D.

2. Plaxis calculation

Fungsi perhitungan praktis melakukan perhitungan setelah entri data selesai.

3. Plaxis output

Plaxis export berfungsi untuk melakukan perhitungan berupa tabel data dan grafik setelah import dan perhitungan dilakukan.

4. Plaxis curve

Kurva plaxis, yang merupakan diagram berat untuk posisi tertentu dalam program perhitungan, digunakan untuk menunjukkan hubungan antara beban dan waktu tempuh.



BAB III

METODOLOGI PENULISAN

3.1. Tinjauan Umum

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, penulis memaparkan metode penelitian pada bab ini. Topik yang dibahas adalah penggunaan PVD, material geosintetik yang digunakan pada Proyek Jalan Tol Semarang-Demak STA 20+400, menggunakan program software Plaxis 8.6.

Tugas akhir ini mengambil data pada pembangunan infrastruktur jalan tol yang dibangun oleh PT. PP (Persero) tbk sebagai kontraktor dan Virama Karya sebagai konsultan.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data yang diperlukan, termasuk semua jenis data yang mendukung proses penelitian, dan berlanjut secara teoritis sampai tujuan yang ingin dikomunikasikan tercapai. Beberapa data yang diperlukan adalah data sekunder, antara lain sebagai berikut

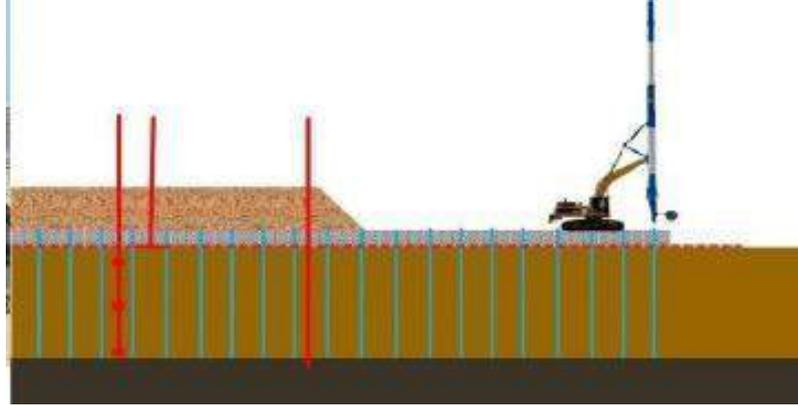
1. Masterplan Proyek

Masterplan gambaran lokasi rencana proyek awal jalan tol dari Kota Semarang sampai akhir jalan tol Kota Demak, Jawa Tengah.



Gambar 3.1 Masterplan Proyek Jalan Tol Semarang – Demak

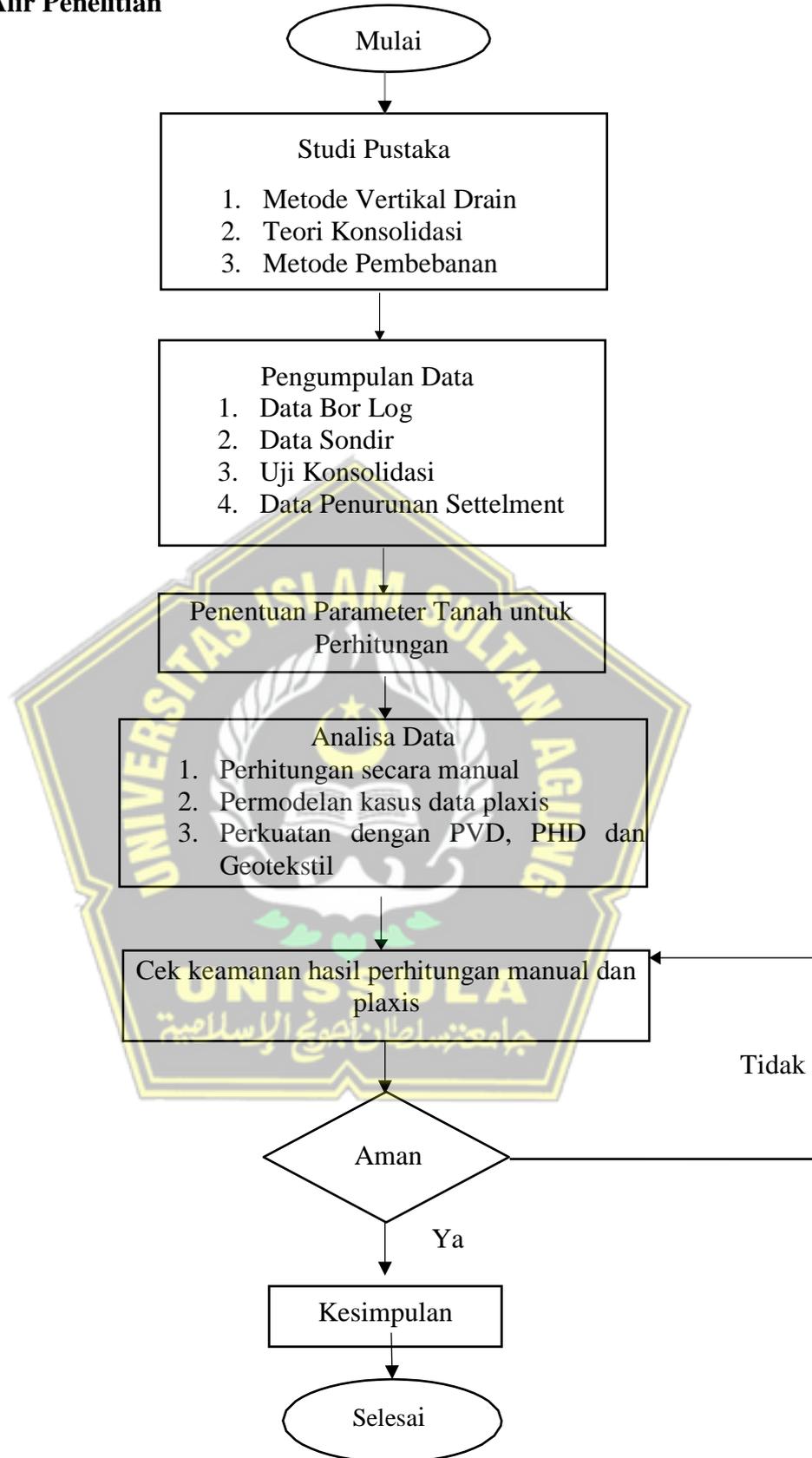
Sumber : PT. Virama Karya



Gambar 3.3 Contoh metode pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain System*)
(Kuswanda, 2015)



3.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.4 Bagan Alur Penelitian

3.4. Tahapan Analisa

3.4.1. Analisa Perhitungan Manual

1. Perhitungan manual metode Terzaghi

Perhitungan manual terzaghi dimulai dengan menghitung nilai koefisien konsolidasi vertikal (C_v) dengan Persamaan (2.5) serta perhitungan nilai indeks pemampatan (C_c) dengan Persamaan (2.8)

$$C_v = \frac{(C_{v1} - C_{v2}) \times (\gamma_{sat1} - \gamma_{sat2})}{(\gamma_{sat1} - \gamma_{sat2})} + C_{v2}$$

$$C_v = 0,009 (LL - 10)$$

2. Perhitungan penurunan konsolidasi primer

Perhitungan penurunan konsolidasi primer dapat dianalisa melalui Persamaan (2.2), Tegangan overburden efektif (P_o) dengan menggunakan Persamaan (2.9), dan Distribusi tegangan tanah (ΔP) dengan menggunakan Persamaan (2.10)

$$S_p = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$$

$$P_o = \gamma' \times H$$

$$\Delta P = 2 \times q_o \times I$$

3. Perhitungan derajat konsolidasi tanah tanpa PVD dan PHD

Analisa Derajat Konsolidasi Tanah tanpa PVD menggunakan Persamaan (2.7)

$$C_v \text{ gab} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2}$$

Perhitungan faktor waktu (T_v) dihitung menggunakan Persamaan (2.13)

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H^2}$$

Analisa konsolidasi vertikal (U_v) di hari pertama menggunakan Persamaan (2.15)

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

4. Perhitungan konsolidasi tanah dengan PVD dan PHD

Analisa Derajat Konsolidasi Tanah dengan PVD yang dipasang menggunakan pola segitiga jarak 0,9 m menggunakan Persamaan (2.7)

$$C_v gab = \frac{(H1 + H2 + \dots + Hn)^2}{\left(\frac{H1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{Hn}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2}$$

Analisa faktor waktu (T_v) di hari pertama dihitung dengan Persamaan (2.13)

$$T_v = \frac{C_v x t}{H^2}$$

Analisa konsolidasi vertikal (U_v) di hari pertama dengan Persamaan (2.15)

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

Analisa koefisien konsolidasi horizontal (C_h) memakai Persamaan (2.6)

$$C_h = 1,5 x C_v gab$$

Analisa diameter ekivalen (D_w) *vertical drain* memakai Persamaan (2.18)

$$D_w = \frac{2(a + b)}{\pi}$$

Analisa faktor hambatan akibat jarak PVD ($F_{(n)}$) memakai Persamaan (2.17)

$$F_{(n)} = \ln \frac{De}{D_w} - \frac{3}{4}$$

Perhitungan faktor waktu horizontal (T_h) memakai Persamaan (2.14)

$$T_h = \frac{C_h x t}{de^2}$$

$$U_h = 1 - \text{Exp}\left(\frac{-8T_h}{F(n)}\right)$$

Analisa derajat konsolidasi tanah (U) memakai Persamaan (2.19)

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

3.4.2. Analisa Plaxis

Plaxis adalah program aplikasi komputer yang menghitung fusi menggunakan teori dasar fusi organisme. Program ini melakukan perhitungan elemen hingga. Ini khusus digunakan untuk melakukan analisis beban dan stabilitas untuk berbagai aplikasi geoteknik. Kondisi nyata dapat dimodelkan menggunakan bidang asimetris atau distorsi. Program ini menggunakan antarmuka grafis yang mudah digunakan yang memungkinkan pengguna membuat model geometris dan mesh

dengan cepat dan efisien berdasarkan penampang kondisi yang telah mereka rancang atau analisis. Program ini terdiri dari empat subrutin: input, kalkulasi, output, dan kurva. Kondisi lapangan yang disimulasikan dalam Plaxis dirancang untuk berpindah dari eksekusi lapangan ke program yang dijalankan dan untuk memastikan bahwa eksekusi lapangan sedekat mungkin dengan program. Data yang dihasilkan dari program akan mencerminkan kondisi aktual yang akan Anda temui nanti di lapangan.

Step 1 : Buka aplikasi plaxis, pilih “proyek baru”

Step 2 : Tulis judul dan masukkan dimensi geometri

Step 3 : Gambar penampang melintang tanah sesuai dengan ukuran yang ditentukan

Step 4 : Masukkan data material lalu klik “Jepit standart”

Step 5 : Beri garis geogrid sesuai dengan gambar pada cross section

Step 6 : Masukkan beban merata

Step 7 : Gambarkan PVD sesuai dengan jarak serta kedalaman nya

Step 8 : Klik “susun jaring elemen” lalu “kondisi awal”

Step 9 : Beri garis muka air tanah

Step 10 : Klik ikon bintang biru tiga lalu “OK”

Step 11 : Pindahkan ikon hijau kanan ke hijau kiri

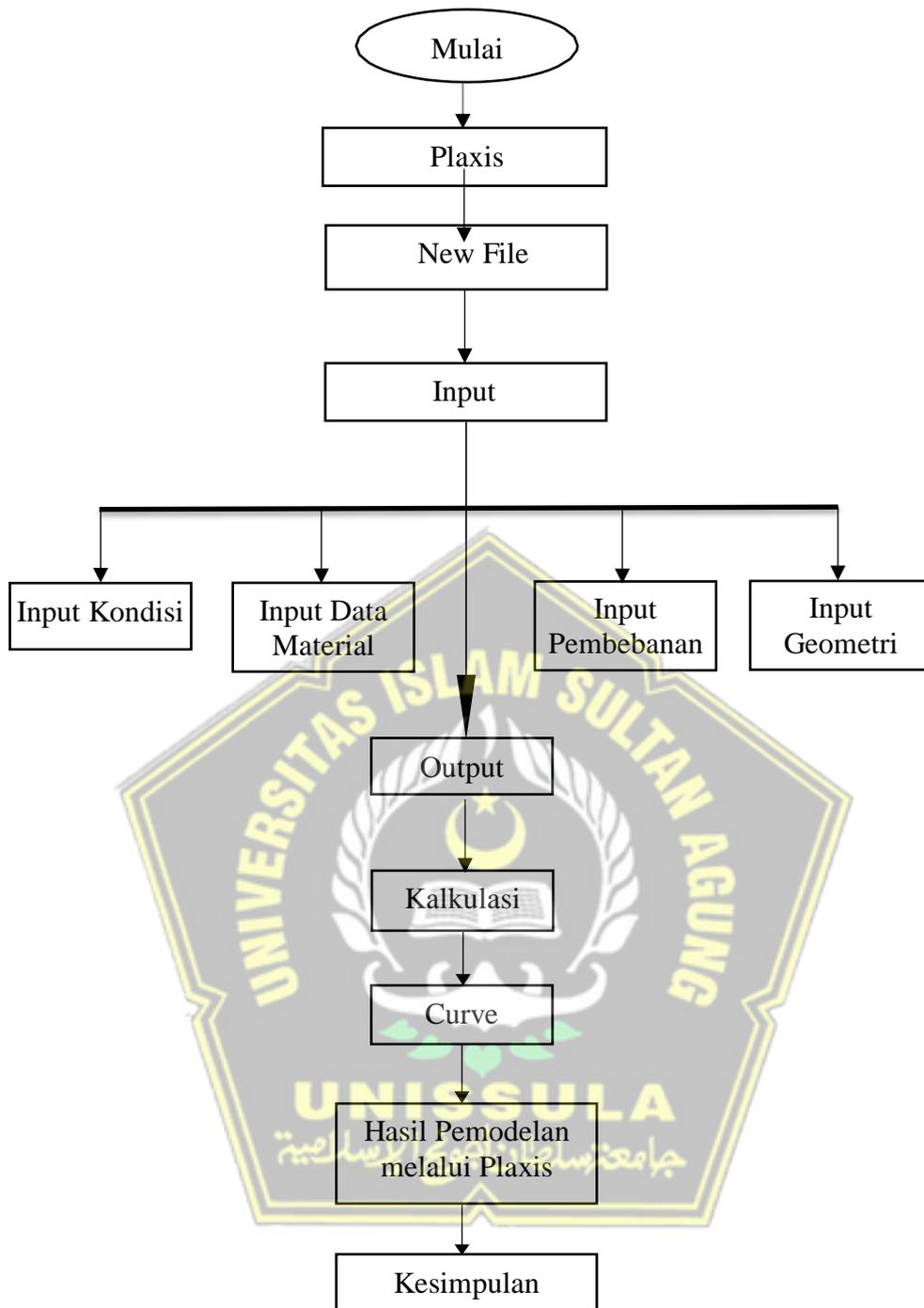
Step 12 : Klik ikon bintang merah tiga lalu “OK”

Step 13 : “Hitung” dan save data

Step 14 : Masukkan identifikasi untuk menghitung besaran konsolidasi dan yang lain nya.

Tabel 3.1 Komponen yang dibutuhkan saat menggunakan Aplikasi Plaxis

Komponen	Nama	Fungsi
	Garis geometri	Untuk menggambar kontur
	Geogrid	Untuk memasukkan geogrid
	Jepit standar	Untuk menerapkan kondisi batas standar
	Beban merata A	Untuk memasukkan beban merata jalan
	Drainase	Untuk memasukkan PVD dan PHD
	Set data material	Untuk memasukkan kumpulan data material
	Susun jaring elemen	Untuk membagi menjadi elemen standar dan structural yang kompatibel
	Penentuan Kondisi Awal	Untuk menghitung kondisi awal setelah penyusunan ulang dari jaring elemen
	Garis freatik	Untuk membuat batas muka air
	Batas konsolidasi tertutup	Untuk menentukan batas konsolidasi
	Hitung tekanan air	Untuk mengetahui kondisi penurunan tanah setelah data air dimasukkan
	Modus konfigurasi geometri awal	Untuk mengatur gambar struktur awal kondisi tanah asli sebelum ada timbunan
	Modus konfigurasi geometri awal	Untuk menjadikan tanah setelah ada timbunan dan PVD
	Hitung tegangan awal	Untuk memperbarui keadaan tanah setelah dilakukan perubahan
	Hitung	Untuk menghitung penurunan tanah pada tahap-tahap selanjutnya



Gambar 3.5 Bagan Tahapan pada Plaxis

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Analisis

4.1.1. Parameter Tanah

Tabel 4.1 Parameter Tanah

No	Kedalaman (m)	Konsistensi	N – SPT	E (kN/m ²)	c (kN/m ²)	Φ (phi)	Kx (m/day)	Ky (m/day)	v	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	LL	PI
1	0,00 – 4,50	Soft	3	3000	18,00	22	1,00E-05	1,00E-05	0,35	14,00	18,00	27	15
2	4,50 – 8,00	Soft	2	2000	12,50	22	1,00E-05	1,00E-05	0,35	14,00	18,00	22	12
3	8,00 – 22,00	Soft	4	4000	25,00	22	1,00E-05	1,00E-05	0,35	14,00	18,00	29	13
4	22,00 – 25,00	Medium	5	5000	30,00	25	1,00E-06	1,00E-06	0,35	14,50	18,50	29	12
5	25,00 – 29,00	Medium	8	8000	50,00	25	1,00E-06	1,00E-06	0,35	14,50	18,50	41	11
6	29,00 – 34,00	Stiff	11	11000	70,00	27	1,00E-07	1,00E-07	0,35	15,00	19,00	39	12
7	34,00 – 52,00	Very stiff	17	17000	120,00	28	1,00E-08	1,00E-08	0,35	16,00	19,50	37	12
8	52,00 – 57,50	Very stiff	18	18000	130,00	28	1,00E-08	1,00E-08	0,35	16,00	19,50	24	12
9	57,50 – 67,50	Hard clay	30	30000	200,00	30	1,00E-09	1,00E-09	0,35	17,00	20,00	35	19
10	67,50 – 70,50	Hard clay	39	39000	200,00	30	1,00E-09	1,00E-09	0,35	17,00	20,00	22	8

Dari tabel parameter tanah di atas dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah pada kedalaman 0 - 22 meter adalah humus lunak, lapisan tanah pada kedalaman 22 - 25 meter adalah lempung dengan kerapatan sedang, dan lapisan tanah adalah kerapatan sedang. Lapisan tanah pada kedalaman 29 - 34 meter adalah lempung keras, lapisan tanah pada kedalaman 34 - 57,5 meter adalah lempung sangat keras, dan lapisan terakhir pada kedalaman 57,5 - 70,5 meter adalah lempung . tanah liat yang tebal. PI dapat ditingkatkan dari lumpur klat menjadi nilai PI antara 10-15.

4.1.2. Parameter Timbunan

Tabel 4.2 Parameter Timbunan

No	Parameter	Model	Tipe	Kx (m/day)	Ky (m/day)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kN/m ²)	v	c (kN/m ²)	Φ (phi)
1	Timbunan	MC	Drained	1,16E-07	1,16E-07	16	19	1,10E+04	0,3	10	25

Dari parameter tanah timbunan di atas dapat disimpulkan bahwa tanah timbunan merupakan tanah yang cukup baik jika kita lihat dari nilai E dan γ yang ada.

4.1.3. Parameter Perkerasan Jalan

Tabel 4.3 Parameter Material Perkerasan

No	Parameter	Model	Tipe	Kx (m/day)	Ky (m/day)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kN/m ²)	v	c (kN/m ²)	Φ (phi)
1	Agregat A	MC	Drained	1	1	20	21	5,00E+04	0,20	4	34
2	Agregat B	MC	Drained	0,86	0,87	18	20	4,50E+04	0,20	4	31
3	Lean concrete	LE	Non-Porous	-	-	24	-	3,57E+07	0,15	-	-
4	Rigid Pavement	MC	Non-Porous	-	-	25	-	3,14E+04	0,20	385	8

4.1.4 Parameter Geotekstil

Tabel 4.4 Parameter Geotekstil

No	Jenis	Model	EA (kN/m)	Np (kN/m)
1	Geogrid	Plastis	142,857	-

4.2. Pembebanan

Beban lalu lintas ditambahkan ke lebar keseluruhan perkerasan dan tingginya ditentukan oleh kelas lalu lintas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5:

Tabel 4.5 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas dan Beban di Luar Jalan

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)	Beban Luar Jalan (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

(sumber: DPU,2001)

Pada pekerjaan Jalan Tol Semarang – Demak menggunakan kelas Jalan I, beban lalu lintas yang dipakai sebesar 15 kPa dan beban luar jalan yang digunakan sebesar 10 kPa.

4.3. Tahapan Perhitungan Manual Metode *Terzaghi*

Perhitungan manual metode *Terzaghi* awal yang akan di hitung yaitu nilai koefisien konsolidasi vertikal (C_v) menggunakan Persamaan 2.5 untuk nilai indeks pemampatan (C_c) menggunakan Persamaan 2.8 sebagai berikut :

$$C_v = \frac{(C_{v1} - C_{v2}) \times (\gamma_{sat1} - \gamma_{sat})}{(\gamma_{sat1} - \gamma_{sat2})} + C_{v2}$$

Diketahui :

$$\gamma_{sat} = 1,428$$

$$\gamma_{sat1} = 1,4$$

$$\gamma_{sat2} = 1,3$$

$$C_{v1} = 9 \times 10^{-4}$$

$$C_{v2} = 8 \times 10^{-4}$$

$$C_v = \frac{(C_{v1} - C_{v2}) \times (\gamma_{sat1} - \gamma_{sat})}{(\gamma_{sat1} - \gamma_{sat2})} + C_{v2}$$

$$C_v = \frac{(9 \times 10^{-4} - 8 \times 10^{-4}) \times (1,4 - 1,428)}{(1,4 - 1,3)} + 8 \times 10^{-4}$$

$$C_v = 7,72 \times 10^{-4}$$

$$C_c = 0,009 (LL - 10)$$

$$C_c = 0,009 (27 - 10)$$

$$C_c = 0,153$$

Tabel 4.6 Nilai C_v dan C_c

No	H	γ_{dry}	C_v	C_c
1	450	14	$7,72 \times 10^{-4}$	0,153
2	350	14	$7,72 \times 10^{-4}$	0,108
3	1400	14	$7,72 \times 10^{-4}$	0,171
4	300	14,5	$7,21 \times 10^{-4}$	0,171
5	400	14,5	$7,21 \times 10^{-4}$	0,279
6	500	15	$6,70 \times 10^{-4}$	0,261
7	1800	16	$5,68 \times 10^{-4}$	0,243
8	550	16	$5,68 \times 10^{-4}$	0,126
9	1000	17	$4,66 \times 10^{-4}$	0,225
10	300	17	$4,66 \times 10^{-4}$	0,108

4.3.1. Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (*Consolidation Settlement*)

Perhitungan reduksi konsolidasi awal untuk menentukan reduksi konsolidasi normal dapat dianalisis menggunakan Persamaan 2.2 sebagai berikut::

Lapisan I

$$S_p = 1 + \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

Diketahui :

$$C_c = 0,153$$

$$H = 450$$

$$q_0 = 228,417$$

$$\gamma' = 0,855$$

Nilai I menggunakan grafik Osterberg 1957

$$I = 0,50$$

a) Tegangan overburden efektif (P_0)

$$P_0 = \gamma' \times H$$

$$P_0 = 0,855 \times 450$$

$$P_0 = 375,973 \text{ gr/cm}^2$$

b) Distribusi Tegangan Tanah (ΔP)

$$\Delta P = 2 \times q_0 \times I$$

$$\Delta P = 2 \times 326,309 \times 0,50$$

$$\Delta P = 326,31 \text{ gr/cm}^2$$

Maka penurunan tanah pada Lapisan I yaitu :

$$S_p = 1 + \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

$$S_p = 1 + \frac{0,153 \times 450}{1 + 0,870} \log \frac{375,973 + 326,31}{375,973}$$

$$S_p = 9,989 \text{ cm}$$

Melakukan perhitungan yang sama pada lapisan berikutnya hingga selesai.

Rekapitulasi perhitungan penurunan tanah pada Tabel 4.7 sebagai berikut :

Tabel 4.7 Perhitungan Penurunan Tanah

Lapisan	H (cm)	P0' (gr/cm ²)	ΔP (gr/cm ²)	e	Cc (cm ² /s)	Sp (cm)
1	450	375,97	326,31	0,870	0,153	9,989
2	350	292,42	326,31	0,870	0,108	6,579
3	1400	1169,69	326,31	0,870	0,171	13,679
4	300	265,94	326,31	0,806	0,171	9,878
5	400	354,59	326,31	0,806	0,279	17,512
6	500	468,73	326,31	0,746	0,261	17,155
7	1800	1779,22	326,31	0,636	0,243	19,547
8	550	543,65	326,31	0,636	0,126	8,646
9	1000	1039,44	326,31	0,540	0,225	17,321
10	300	311,83	326,31	0,540	0,108	6,542
Penurunan Tanah Total						126,848

4.3.2. Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah Tidak Dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dan PHD (*Prefabricated Horizontal Drain*)

Analisa Derajat Konsolidasi Tanah Tanpa PVD

Data Tanah :

$$H_1 = 450 \quad C_{v1} = 0,000772$$

$$H_2 = 350 \quad C_{v2} = 0,000772$$

$$H_3 = 1400 \quad C_{v3} = 0,000772$$

$$H_4 = 300 \quad C_{v4} = 0,000721$$

$$H_5 = 400 \quad C_{v5} = 0,000721$$

$$H_6 = 500 \quad C_{v6} = 0,000670$$

$$H_7 = 1800 \quad C_{v7} = 0,000568$$

$$H_8 = 550 \quad C_{v8} = 0,000568$$

$$H_9 = 1000 \quad C_{v9} = 0,000466$$

$$H_{10} = 300 \quad C_{v10} = 0,000466$$

$$C_v \text{ gab} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\sqrt{\frac{H_1}{C_{v1}}} + \sqrt{\frac{H_2}{C_{v2}}} + \dots + \sqrt{\frac{H_n}{C_{vn}}}\right)^2}$$

$$C_v \text{ gab} = \frac{(450 + 350 + 1400 + 300 + 400 + 500 + 1800 + 550 + 1000 + 300)^2}{\left(\sqrt{\frac{450}{0,000772}} + \sqrt{\frac{350}{0,000772}} + \sqrt{\frac{1400}{0,000772}} + \sqrt{\frac{300}{0,000721}} + \sqrt{\frac{400}{0,000721}} + \sqrt{\frac{500}{0,000670}} + \sqrt{\frac{1800}{0,000568}} + \sqrt{\frac{550}{0,000568}} + \sqrt{\frac{1000}{0,00066}} + \sqrt{\frac{300}{0,000466}}\right)^2}$$

$$C_v \text{ gab} = 0,005351 \text{ m}^2/\text{day}$$

Perhitungan faktor waktu (T_v) di hari ke-1 dihitung memakai Persamaan 2.13 sebagai berikut :

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H^2}$$

$$T_v = \frac{0,005351 \times 1}{\left(\frac{70,5}{2}\right)^2}$$

$$T_v = 0,000004306$$

Analisa derajat konsolidasi arah vertikal (U_v) di hari ke-1 memakai Persamaan 2.15 sebagai berikut :

Untuk $U_v < 60\%$, maka U_v adalah :

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4T_v}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \times 0,000004306}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0,000004306}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$U_v = 0,00236$$

$$Sp = U_v \times 1,35774$$

$$Sp = 0,00236 \times 1,35774$$

$$Sp = 0,0032005 \text{ m}$$

Hasil analisis konsolidasi tanpa menggunakan PVD dan PHD disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Derajat Konsolidasi tanpa PVD dan PHD

T (Hari)	T _v	C _v (m ² /day)	U _v	S (m)
1	4,36,E-06	0,005351	0,00236	0,003200538
10	4,36,E-05	0,005351	0,00745	0,010120990
100	4,36,E-04	0,005351	0,02357	0,032005380
1000	4,36,E-03	0,005351	0,07454	0,101209890
10000	4,36,E-02	0,005351	0,23571	0,320036285
78750	3,44,E-01	0,005351	0,65043	0,883121151
150000	6,54,E-01	0,005351	0,83925	1,139477174
195000	8,51,E-01	0,005351	0,90015	1,222175884
250000	1,09,E+00	0,005351	0,94137	1,278140707
260000	1,13,E+00	0,005351	0,94641	1,284979918
270000	1,18,E+00	0,005351	0,95091	1,291085088
280000	1,22,E+00	0,005351	0,95493	1,296544173
290000	1,26,E+00	0,005351	0,95853	1,301434143
300000	1,31,E+00	0,005351	0,96176	1,305822281

4.3.3. Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah Dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dan PHD (*Prefabricated Horizontal Drain*)

Analisis konsolidasi tanah dengan PVD dilakukan menurut model segitiga dengan jarak 0,9 m.

Hitung derajat konsolidasi :

$$C_v \text{ gab} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\sqrt{\frac{H_1}{C_{v1}}} + \sqrt{\frac{H_2}{C_{v2}}} + \dots + \sqrt{\frac{H_n}{C_{vn}}}\right)^2}$$

Menurut perhitungan pada subbab 4.3.2

$$C_v \text{ gab} = 0,003547 \text{ m}^2/\text{day}$$

Hitung faktor waktu (T_v) di hari ke-1 dihitung memakai Persamaan 2.13 sebagai berikut :

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H^2}$$

$$T_v = \frac{0,003510 \times 1}{\left(\frac{70,5}{2}\right)^2}$$

$$T_v = 0,0008091$$

Hitung derajat konsolidasi vertikal (U_v) di hari ke-1 memakai Persamaan 2.15 sebagai berikut :

Untuk $U_v < 60\%$, maka U_v adalah :

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4Tv}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4Tv}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \times 0,0008091}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0,0008091}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$U_v = 0,032076$$

$$S_p = U_v \times 1,268483$$

$$S_p = 0,032076 \times 1,268483$$

$$S_p = 0,07854 \text{ m}$$

Perhitungan koefisien konsolidasi horizontal (C_h) menggunakan Persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$C_h = 1,5 \times C_v \text{ gab}$$

$$C_h = 1,5 \times 0,005351$$

$$C_h = 0,008027 \text{ m}^2/\text{day}$$

Menghitung diameter ekuivalen (D_w) Vertical Drain dicari dengan Persamaan 2.18 sebagai berikut :

$$D_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$$

$$D_w = \frac{2(0,12 + 0,33)}{\pi}$$

$$D_w = 0,0974 \text{ m}$$

Menghitung faktor hambatan akibat jarak PVD ($F_{(n)}$) dicari dengan Persamaan 2.17 sebagai berikut :

$$F_{(n)} = \ln\left(\frac{De}{Dw}\right) - \frac{3}{4}$$

$$F_{(n)} = \ln\left(\frac{0,945}{0,0974}\right) - \frac{3}{4}$$

$$F_{(n)} = 1,552$$

Hitung faktor waktu horizontal (T_h) dengan Persamaan 2.14 sebagai berikut :

$$T_h = \frac{ch \times t}{de^2}$$

$$T_h = \frac{8,027 \times 10^{-3} \times 1}{0,945^2}$$

$$T_h = 0,008988$$

$$U_h = 1 - \text{Exp} \left(\frac{-8T_h}{F(n)} \right)$$

$$U_h = 1 - \text{Exp} \left(\frac{-8 \times 0,008988}{1,552} \right)$$

$$U_h = 0,0461$$

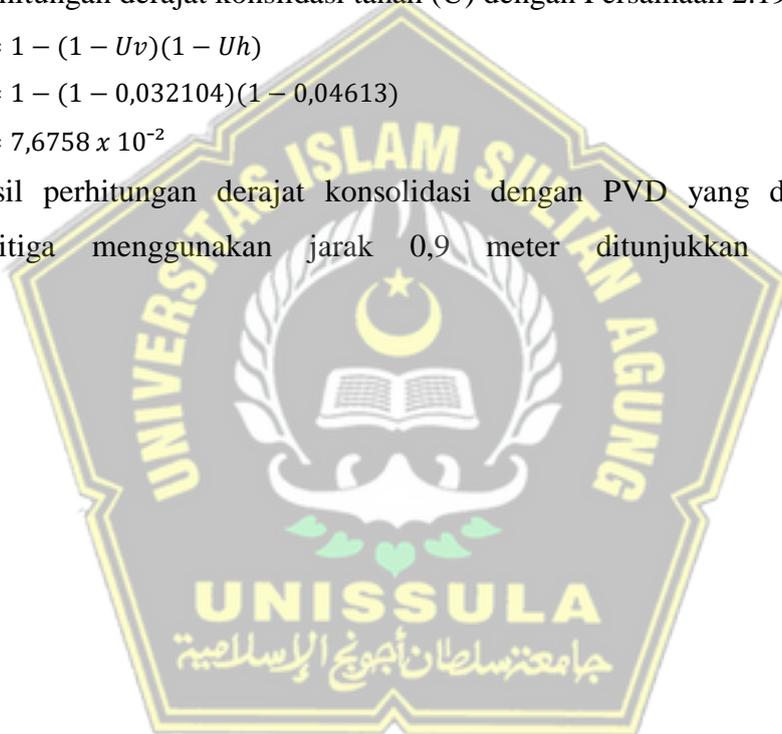
Perhitungan derajat konsolidasi tanah (U) dengan Persamaan 2.19 sebagai berikut :

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

$$U = 1 - (1 - 0,032104)(1 - 0,04613)$$

$$U = 7,6758 \times 10^{-2}$$

Hasil perhitungan derajat konsolidasi dengan PVD yang dipasang pada pola segitiga menggunakan jarak 0,9 meter ditunjukkan pada Tabel 4.9.



Tabel 4.9 Tingkat konsolidasi Menggunakan pola segitiga PVD 0,9 meter

T (Hari)	Tv	C _v (m ² /day)	Uv	Ch (m ² /day)	Th	Uh	U	S (m)
1	8,091,E-04	5,3510,E-03	3,21,E-02	8,027,E-03	8,988,E-03	4,61,E-02	7,6758,E-02	0,09737
10	8,052,E-03	5,3510,E-03	1,01,E-01	8,027,E-03	8,988,E-02	3,76,E-01	4,3960,E-01	0,55763
20	1,610,E-02	5,3510,E-03	1,43,E-01	8,027,E-03	1,798,E-01	6,11,E-01	6,6687,E-01	0,84591
30	2,415,E-02	5,3510,E-03	1,75,E-01	8,027,E-03	2,696,E-01	7,58,E-01	8,0007,E-01	1,01488
40	3,220,E-02	5,3510,E-03	2,03,E-01	8,027,E-03	3,595,E-01	8,49,E-01	8,7944,E-01	1,11555
49	3,944,E-02	5,3510,E-03	2,24,E-01	8,027,E-03	4,404,E-01	9,01,E-01	9,2332,E-01	1,17122
60	4,829,E-02	5,3510,E-03	2,48,E-01	8,027,E-03	5,393,E-01	9,41,E-01	9,5580,E-01	1,21241
70	5,634,E-02	5,3510,E-03	2,68,E-01	8,027,E-03	6,292,E-01	9,63,E-01	9,7317,E-01	1,23444
80	6,439,E-02	5,3510,E-03	2,86,E-01	8,027,E-03	7,190,E-01	9,77,E-01	9,8369,E-01	1,24779
90	7,244,E-02	5,3510,E-03	3,04,E-01	8,027,E-03	8,089,E-01	9,86,E-01	9,9008,E-01	1,25590
100	8,048,E-02	5,3510,E-03	3,20,E-01	8,027,E-03	8,988,E-01	9,91,E-01	9,9396,E-01	1,26082
365	2,938,E-01	5,3510,E-03	6,05,E-01	8,027,E-03	3,281,E+00	1,00,E+00	1,0000,E+00	1,26848
1095	8,812,E-01	5,3510,E-03	9,07,E-01	8,027,E-03	9,842,E+00	1,00,E+00	1,0000,E+00	1,26848
3650	2,937,E+00	5,3510,E-03	9,94,E-01	8,027,E-03	3,281,E+01	1,00,E+00	1,0000,E+00	1,26848

4.3.4. Tahapan Perhitungan Menggunakan Aplikasi Program Plaxis 8.6

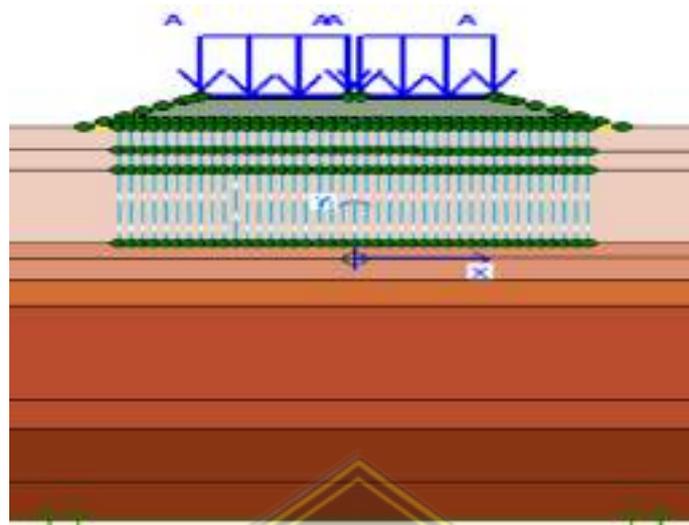
Perhitungan pembangunan proyek Jalan Tol Semarang – Demak memiliki beberapa tahapan. Tahapan-tahapan ini akan dijelaskan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Phase Perhitungan

Identification	Phases	Start From	Calculation	Loading Input	Time
Initial Phase	0	0	N/A	N/A	0 day
Timbunan Platform	1	0	Plastic	Construction	11 days
Pemasangan PVD	2	1	Plastic	Construction	7 days
Timbunan 200 cm	3	2	Plastic	Construction	2 days
Masa tunggu 1	4	3	Consolidation	Construction	5 days
Timbunan 100 cm	5	4	Plastic	Construction	2 days
Masa tunggu 2	6	5	Consolidation	Construction	5 days
Timbunan 140 cm	7	6	Plastic	Construction	2 days
Masa tunggu 3	8	7	Consolidation	Construction	5 days
Perkerasan jalan	9	8	Plastic	Construction	30 days
Beban jalan	10	9	Plastic	Construction	1 days
Konsolidasi 1thn	11	10	Consolidation	Construction	365 days
Konsolidasi 3thn	12	11	Consolidation	Construction	1095 days
Konsolidasi 10thn	13	12	Consolidation	Construction	3650 days
Sf 1thn	14	13	Phi/c Reduction	Incremental multipliers	0
Sf 3thn	15	14	Phi/c Reduction	Incremental multipliers	0
Sf 10thn	16	15	Phi/c Reduction	Incremental multipliers	0

4.4 Hasil Perhitungan

4.4.1. Komponen dalam gambar hasil plaxis



Gambar 4.1 Gambar Plaxis



Gambar 4.2 Gambar muka air tanah pada plaxis

Dapat disimpulkan pada tabel 4.11 diatas bahwa kedalaman tanah sesuai dengan data *Bor Log* yaitu sedalam 70,5 meter terbagi dari beberapa lapis tanah. Pada kedalaman 0-22 meter merupakan tanah soft, 22-29 meter tanah medium, 29-34 meter tanah stiff, 34-57,5 tanah very stiff, dan 57,5-70,50 tanah hard stiff. Geotekstil dipasang sepanjang panjang proyek jalan setelah itu ditimbun 1 meter menggunakan tanah sebagai beban awal. *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) di pasang pada kedalaman 0-22 meter dikarenakan tanah yang soft dengan pola segitiga dengan jarak 0,9 meter. *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) dipasang diatas PVD sepanjang pekerjaan proyek. Timbun bertahap mulai dari 2 meter, 1 meter dan 1,4 meter. Agraget di letakkan setinggi 60 sentimeter lalu pekerjaan *rigid* setebal 30 cm.

Parameter tanah diperoleh dari data muka air tanah dan penampang ditentukan pada kedalaman 7 meter dari permukaan tanah.

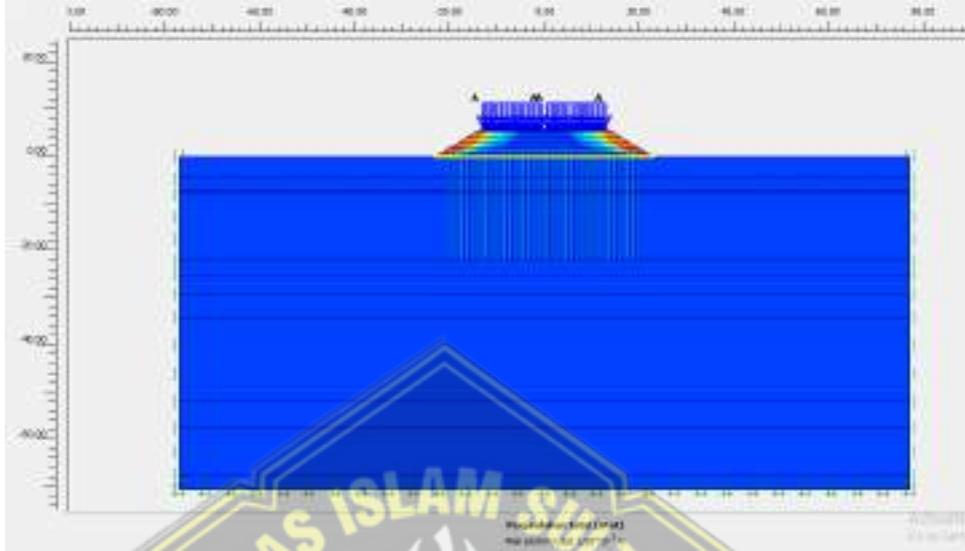
Tabel 4.11 Keterangan Gambar Plaxis

Warna	Kedalaman	Keterangan
	(0,00-22,00) meter	Soft
	(22,00 – 29,00) meter	Medium
	(29,00 – 34,00) meter	Stiff
	(34,00 – 57,50) meter	Very Stiff
	(57,50 – 70,50) meter	Hard Clay
	6 meter	Timbunan
	-	Geotekstil
	22 meter	PVD (<i>Prefabricated Vertical Drain</i>)
	-	PHD (<i>Prefabricated Horizontal Drain</i>)
	60 Centimeter	Agregat
	30 centimeter	<i>Rigid Pavement</i>
	15 kPa	Beban Merata

4.4.2. Output Konsolidasi 1 Tahun

1. Total Penurunan Tanah

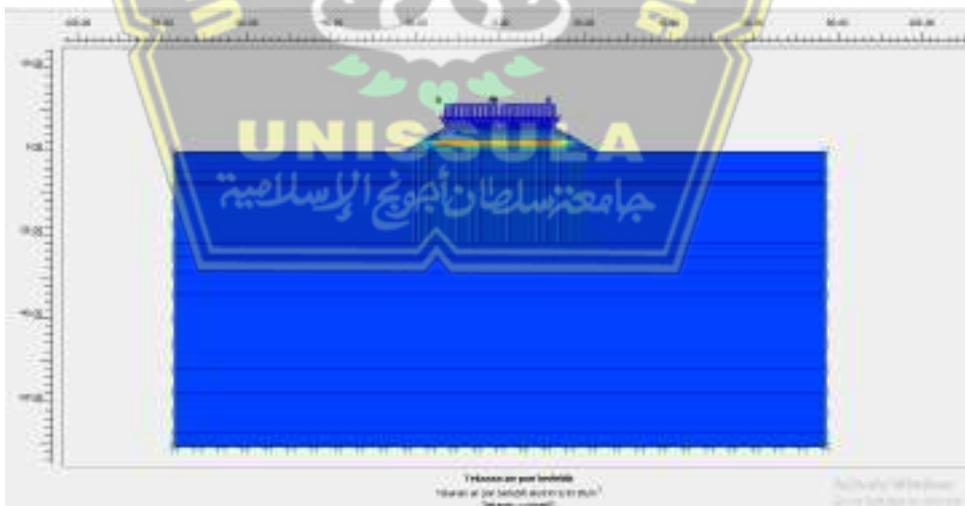
Penurunan setelah 1 tahun konsolidasi adalah $1,08 \times 10^3$ m seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1..



Gambar 4.3 Total Penurunan Tanah 1 Tahun

2. Tekanan Air Pori berlebihan

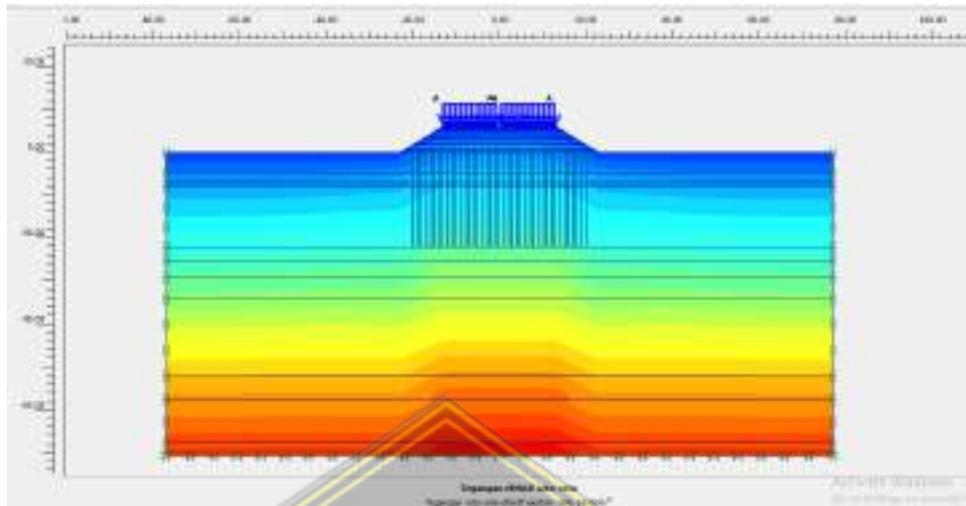
Tekanan air pori berlebihan dalam 1 tahun mencapai tekanan $9,95 \text{ kN/m}^2$ terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.4 Tekanan Air Pori Berlebihan 1 Tahun

3. Tegangan Efektif Rata - Rata

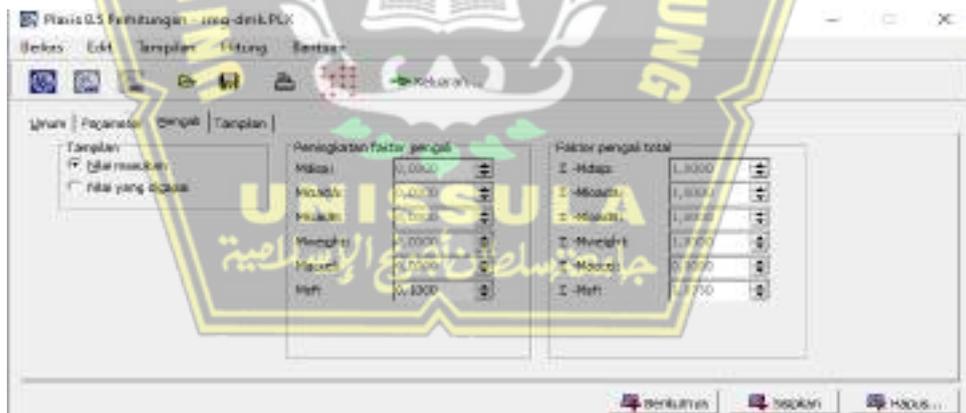
Rata-rata tegangan efektif setelah 1 tahun konsolidasi, tegangan yang dihasilkan sebesar 496,14 kN/m², yang dapat dilihat pada Gambar 4.3..



Gambar 4.5 Tegangan Efektif Rata – Rata 1 Tahun

4. Safety Factor

Faktor keamanan setelah 1 tahun konsolidasi adalah 1.9750, yang dilihat pada Gambar 4.4.

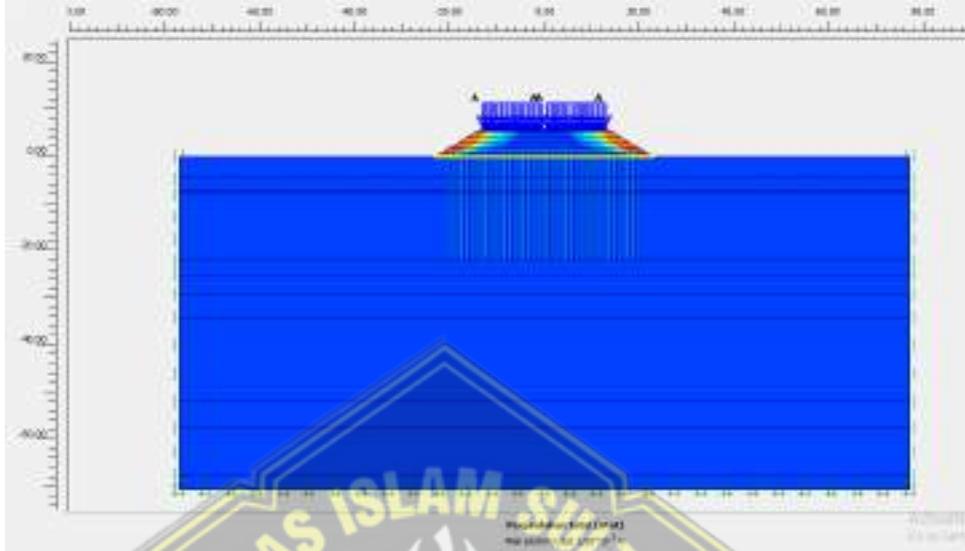


Gambar 4.6 Safety Factor 1 Tahun

4.4.3. Output Konsolidasi 3 Tahun

1. Total Penurunan Tanah

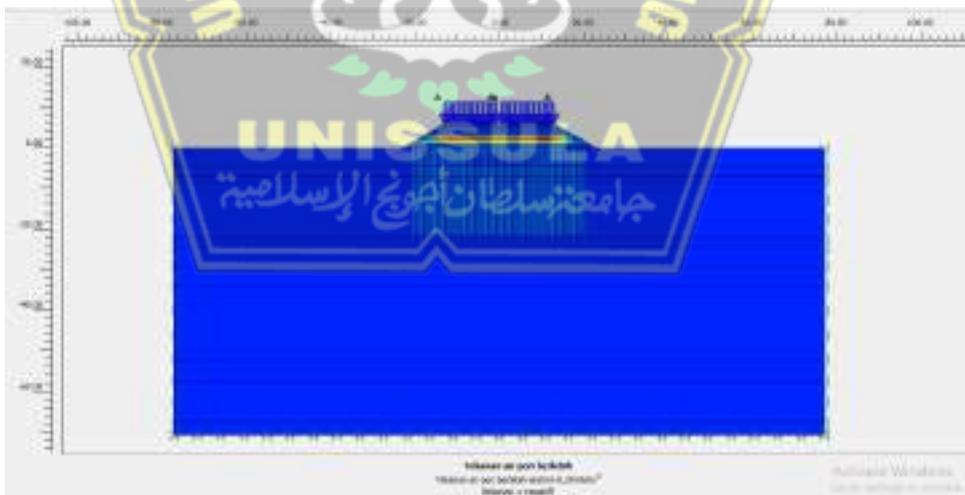
Penurunan setelah 1 tahun konsolidasi adalah $1,08 \times 10^3$ m seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5..



Gambar 4.7 Total Penurunan Tanah 3 Tahun

2. Tekanan Air Pori berlebihan

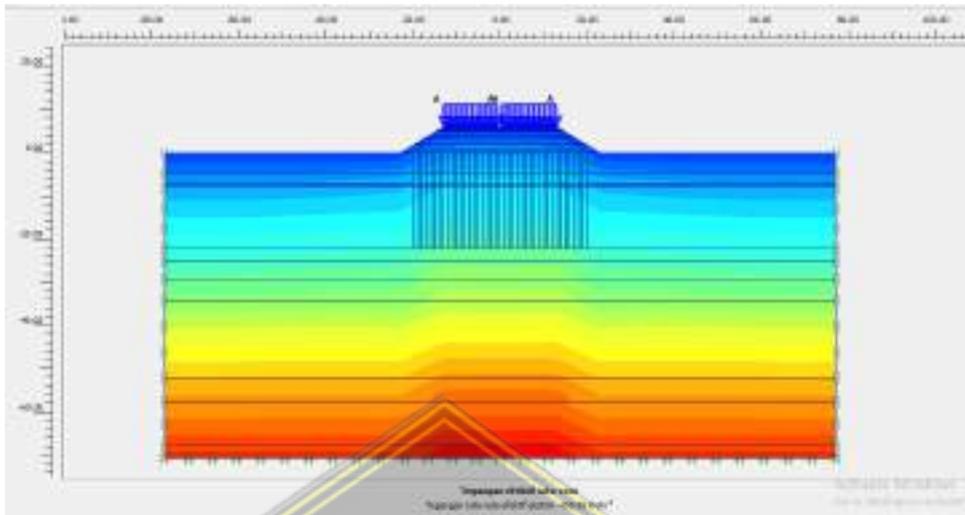
Tekanan air pori berlebih selama 3 tahun dicapai tekanan sebesar $9,29 \text{ kN/m}^2$ terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.8 Tekanan Air Pori Berlebihan 3 Tahun

3. Tegangan Efektif Rata - Rata

Rata-rata tegangan efektif setelah 3 tahun konsolidasi, tegangan yang dihasilkan adalah 495,98 kN/m², yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.9 Tegangan Efektif Rata – Rata 3 Tahun

4. Safety Factor

Faktor keamanan setelah 1 tahun konsolidasi adalah 1,9976 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.

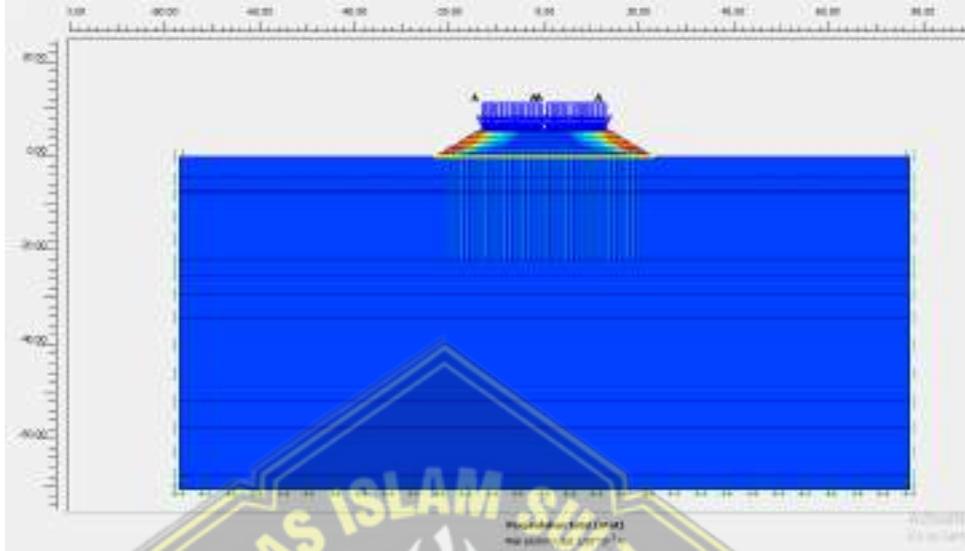


Gambar 4.10 Safety Factor 3 Tahun

4.4.4. Output Konsolidasi 10 Tahun

1. Total Penurunan Tanah

Penurunan setelah 1 tahun konsolidasi adalah $1,08 \times 10^3$ m seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.11 Total Penurunan Tanah 10 Tahun

2. Tekanan Air Pori berlebihan

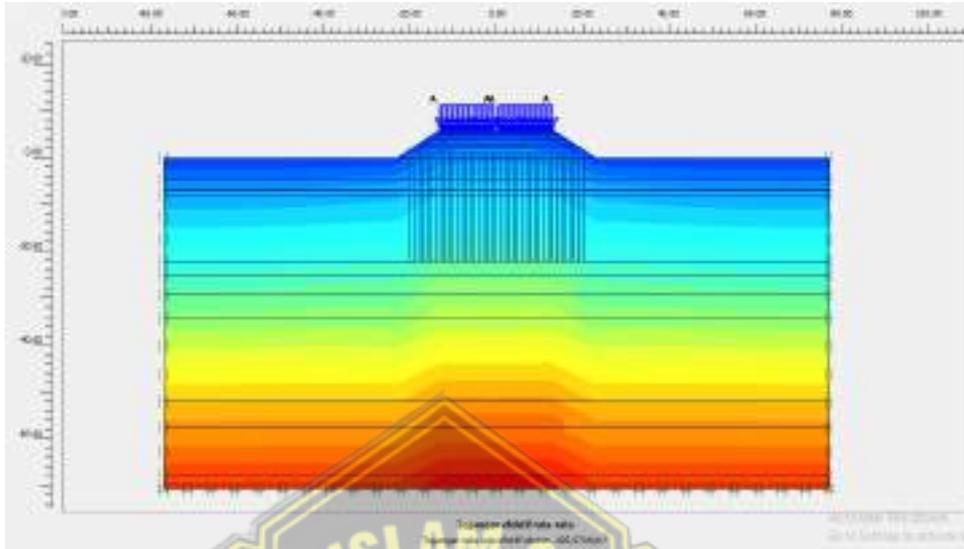
Tekanan air pori berlebih selama 10 tahun diperoleh tekanan sebesar 8,79 kN/m² yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.12 Tekanan Air Pori Berlebihan 10 Tahun

3. Tegangan Efektif Rata - Rata

Rata-rata tegangan efektif setelah 10 tahun konsolidasi, tegangan yang dihasilkan sebesar 495,97 kN/m², dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.13 Tegangan Efektif Rata – Rata 10 Tahun

4. Safety Factor

Faktor keamanan setelah 10 tahun konsolidasi adalah faktor keamanan sebesar 1,9912 seperti terlihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.14 Safety Factor 10 Tahun

4.5. Hasil Analisis

1. Hasil dari analisis perhitungan total penurunan tanah dengan konsolidasi primer metode Terzaghi sebesar 0,95 m.
2. Pada perhitungan manual Terzaghi PVD dan PHD tanpa menggunakan PVD dan PHD, perbandingan waktu dan regresi untuk mencapai konsolidasi 90% dapat dilihat pada Tabel 4.12 di bawah ini..

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Mencapai Derajat Konsolidasi 90%

	Derajat Konsolidasi 90%	
	Waktu (hari)	Penurunan (m)
Tanpa PVD dan PHD	195.000	1,22
Dengan PVD dan PHD	49	1,17

Dari Tabel 4.12, dapat disimpulkan bahwa tanpa PVD dan PHD, waktu yang dibutuhkan tanah untuk mencapai pemadatan 90% adalah 195.000 hari (534 tahun) , mencapai pengurangan pertambahan 1,22 m. Mencapai tingkat konsolidasi 90% di PVD & PHD selama 49 hari dengan penurunan 1,17m.

3. Tabel 4.12 di bawah ini menunjukkan perbandingan penurunan muka tanah yang dihitung dengan tangan dan dengan menerapkan program Plaxis 8.6..

Tabel 4.13 Perbandingan Penurunan Tanah

Waktu	Perhitungan Manual	Perhitungan Plaxis
1 tahun	1,26	1,08
3 tahun	1,26	1,08
10 tahun	1,26	1,08

Perbedaan perbandingan perhitungan Manual dan perhitungan Plaxis sebesar 0,18 m.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan maksud dan tujuan pada bab satu Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Percepatan Konsolidasi Tanah Lunak Dengan PVD, PHD dan Geotextile Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak 20+400” dapat disimpulkan seperti berikut ini :

1. Berdasarkan analisis hasil timbunan menggunakan Aplikasi Program Plaxis 8.6 penurunan sebesar 1,08m pada waktu konsolidasi 1, 3 dan 10 tahun.
2. Berdasarkan analisis hasil penurunan muka tanah dengan perhitungan tangan, besarnya penurunan tanah adalah 1,26m dan masa konsolidasi adalah 1 tahun, 3 tahun dan 10 tahun.
3. Penurunan sebesar 1,17 m terjadi pada hari ke 49 berdasarkan analisis hasil dengan metode Terzaghi menggunakan PVD & PHD dan konsolidasi 90%. Tanpa PVD dan PHD di 195.000. Pada hari ketika penurunan mencapai 1,22m, tingkat konsolidasi adalah 90%..
4. Perhitungan yang dilakukan pada bab empat, dapat mengetahui bahwa tekanan air pori yang keluar dari dalam tanah menggunakan aplikasi plaxis selama 1 tahun sebesar $9,95 \text{ kN/m}^2$ dengan faktor keamanan 1,97, selama 3 tahun sebesar $9,29 \text{ kN/m}^2$ dengan faktor keamanan 1,99 dan selama 10 tahun sebesar $8,79 \text{ kN/m}^2$ dengan faktor keamanan sebesar 1,99.
5. Berdasarkan hasil tahapan yang telah di aplikasikan pada Program Plaxis 8.6, bahwa langkah pertama yang dilakukan berupa timbunan platform yang terdiri dari geotekstil dan timbunan 1 meter geotekstil. Kemudian dilakukan pemasangan PVD dan PHD. Setelah itu dilakukan timbunan setebal 2 meter dengan masa tunggu 1 selama 5 hari. Timbunan dilakukan kembali setebal 1 meter dengan masa tunggu 2 selama 5 hari. Dan yang terakhir timbunan dilakukan setebal 1,4 meter dengan masa tunggu 3 selama 5 hari. Tahap selanjutnya, melakukan perkerasan jalan selama 30 hari dan melakukan pelaksanaan beban jalan. Kemudian dilakukan konsolidasi selama 1, 3, dan 10 tahun. Setelah sudah selesai mencari *Safety Factor* selama 1, 3, dan 10 tahun sebagai acuan keamanan perencanaan konstruksi.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil pengalaman peneliti dalam mengerjakan laporan Tugas Akhir, maka peneliti memberikan saran kepada mahasiswa selanjutnya adalah :

1. Bagi mahasiswa yang akan mengambil penelitian yang memiliki tema serupa atau sama diharapkan dapat meneliti tentang perbandingan pola pemasangan PVD segitiga dengan segiempat.
2. Bagi mahasiswa yang mengambil penelitian selanjutnya diharapkan mengkaji tentang kekuatan dengan geotextile non woven.
3. Peneliti selanjutnya diharapkan dapat mengambil judul tentang analisis penurunan tanah lunak menggunakan geotextile dan tidak menggunakan geotextile.
4. Bagi mahasiswa yang melakukan penelitian tentang tema yang serupa diharapkan lebih teliti dalam menghitung waktu derajat konsolidasi 90% tanpa menggunakan PVD.





DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S., & Fitriyana, L. (2019). Pengaruh feldspar dan ampas tebu terhadap propertis tanah ekspansif. *Reviews in Civil Engineering*, 3(1).
- BSN. (1994). Badan Standardisasi Nasional. *Egalita*, 2, 1–5.
- Bowles, J. E. (1989). Sifat-sifat fisis dan Geoteknis Tanah. *Erlangga, Jakarta*, 562.
- Dangkal, P. P., Bina, D., Direktorat, T., Bina, J., Kementerian, M., Umum, P., Properties, E., Saputra, N. A., Cahyadi, H., Palangkaraya, U. M., Raya, P., Banjarmasin, J. A., & Raya, P. (2009). *Modul Pelatihan Geosintetik VOLUME 6. PERENCANAAN GEOTEKSTIL FILTER UNTUK DRAINASE BAWAH PERMUKAAN*. 4(2), 261–266.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). Mekanika Tanah (prinsip-prinsip rekayasa geoteknis) jilid 1. *Erlangga, Jakarta*.
- Demasya. (2018). UNIVERSITAS SUMATERA UTARA Poliklinik UNIVERSITAS SUMATERA UTARA. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 1(3), 82–91.
- Emadwiandr. (2013). bab III. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9, pp. 1689–1699).
- Fitriyana, Lisa. “Pengaruh Feldspar Dan Ampas Tebu Terhadap Propertis Tanah Ekspansif”. *Jurnal*. 2019. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
- Gouw, T. L., & Gunawan, A. (2020). Vacuum preloading, an alternative soft ground improvement technique for a sustainable development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426(1).
- Hansbo, S. (1979). Consolidation of clay by bandshaped prefabricated drains. *Ground Engineering*, 12(5).

- Hardiyatmo, H. C. (1996). Teknik pondasi 1, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Teknik Pondasi 1 Edisi Kedua. In Gramedia Pustaka Utama.
- Kuswanda, W. P. (2015). Prosiding Problematika Pembangunan Infrastruktur pada Tanah Lempung Lunak dan Alternatif Metoda Penggunaannya. *Prosiding Semnas T.Sipil Unlam "Pembangunan Berkelanjutan Di Lahan Basah,"* 270–288.
- Michael, 2017. Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Preloading Dan PVD Dengan Metode Analitis Dan Metode Elemen Hingga. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Pratikso. 2013. Mekanika Tanah II, Bahan Ajar : Program S1 Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil UNISSULA.
- Pratikso. 2014. Topik Khusus Geoteknik. Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung. Semarang.
- Rakyat, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan (2017). Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta
- Risdianta, R. H. (2018). Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Preloading Dengan Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (PVD) dan Prefabricated Horizontal Drain (PHD) pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Amanda dan Btari (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Stapelfeldt, T. (2006). Preloading and vertical drains. *Preloading and Vertical Drains, Dcm*, 1–27.
- Terzaghi, K. (1925). Structure and volume of voids of soils. In from theory to practice in soil mechanics. *John Wiley*.
- Toha, F. X. (n.d.). *Large scale plate load test to assess settlements Essai de plaque à grande échelle pour évaluer les tassements.* 353–358.

Umum, D. P. Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Teknik,(2009). *Manual Pemeliharaan Rutin untuk Jalan Nasional dan Jalan Propinsi, Jilid II Metode Perbaikan Standar.*

Viona, D. V. (2022). *Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Geotextile Akibat Preloading Dikombinasikan Dengan PVD – PHD (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket II STA 21 + 850).* 7(Kimu 7), 273–279.

Wesley, L. D. (2009). *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils.* In *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils.*

Wulandari, T. E. (2020). *Analisis konsolidasi menggunakan preloading dan prefabricated vertical drain dengan metode perhitungan analitis, plaxis 2d dan 3d pada proyek reklamasi belawan phase I.*

